

359 B1
6 98

НАРОДНЫЙ КОМИССАРИАТ
ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА СССР

Экз. №

224

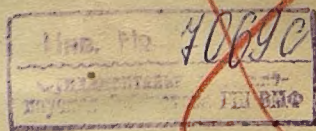
РАССЕКРЕЧЕНО

Директива Главного Штаба ВМФ
от 21 июля 1989 г. № 732/6/188

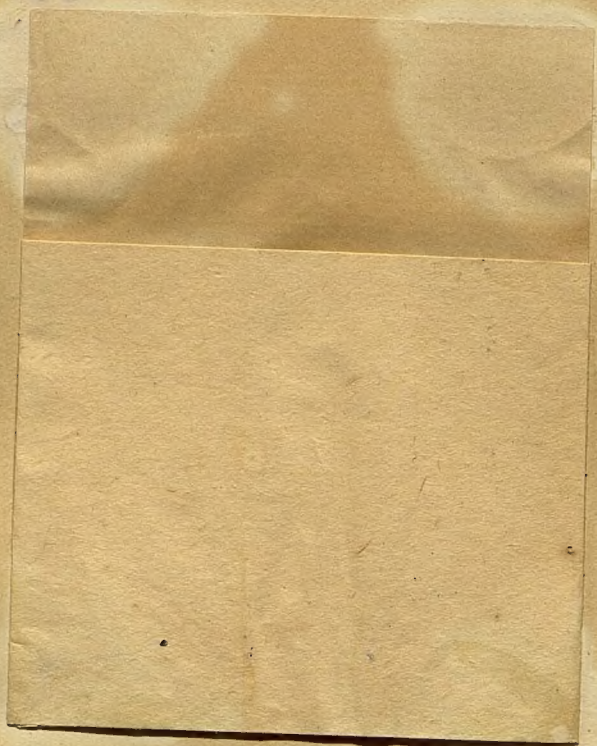
Начальник секретной части

Б Ю Л Л Е Т Е Н Ь
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
КОМИТЕТА НК ВМФ

1 (5)



Л Е Н И Н Г Р А Д - 1 9 4 1



5201

6

6

2

35981
598

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ НК ВМФ

Проверено. 1980 год

Экз. № 224

Проверено 2015

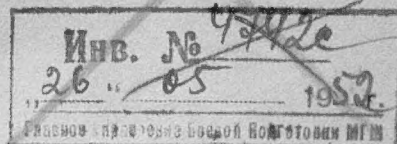
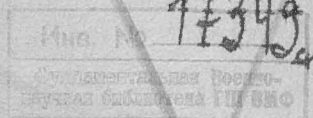
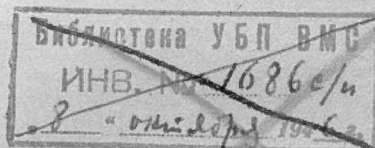
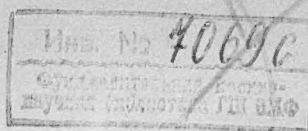
Б Ю Л Л Е Т Е Н Ь
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
КОМИТЕТА НК ВМФ

1 (5)

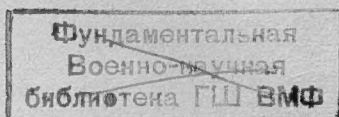
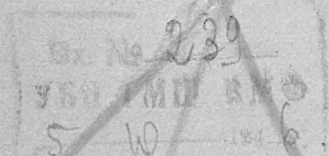
8/015 51



78



ЛЕНИНГРАД ★ 1941



ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

инженер-контр-адмирал

ЖУКОВ А. А.

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Инженер-капитан 2 ранга *Б. В. Смелов* (зам. отв. редактора)

Контр-адмирал *М. М. Долинин*, военинженер 3 ранга *А. М. Шнейдер*, капитан 3 ранга *А. А. Петров*, старший научный сотрудник *В. А. Осипов*, инженер-капитан 2 ранга *В. И. Орловский*, инженер-капитан 2 ранга *А. Е. Кузнецов*, бригадный врач *С. А. Веденяпин*, инженер-капитан 1 ранга *М. М. Четвертаков*, инженер-капитан 1 ранга *С. Л. Лысенко*, инженер-капитан 2 ранга *Д. А. Леушин*, инженер-капитан 2 ранга *А. Г. Мандрик*.

Заказ 5278.

Типография Военмориздата. Ленинград, здание Главного Адмиралтейства.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЩНОСТИ ГЕНЕРАТОРА ДВОЙНОГО ТОКА В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЕГО РАБОТЫ

А. П. Сахаров

*Воен. инж. 1 ранга, доцент,
кандидат технических наук*

В корабельных установках, требующих для питания различных электромеханизмов постоянный и переменный токи, задача одновременного получения постоянного и переменного токов может быть решена различными способами. Одним из решений этой задачи является получение постоянного и переменного токов в одной машине—генераторе двойного тока, называемом иначе генератором „Микст“. Другим решением той же задачи будет применение различных генераторов постоянного и переменного токов, связанных механически в одном агрегате или же совершенно не зависящих друг от друга. Каждый из этих вариантов имеет свои особенности как с точки зрения надежности работы генераторов и корабельных сетей, так и с точки зрения живучести корабельной электроустановки. Очень важным моментом при выборе того или другого варианта являются также габаритные размеры и вес генераторов.

Не вдаваясь в сравнение генератора двойного тока и отдельных генераторов, в настоящей статье ограничимся лишь рассмотрением генератора двойного тока с точки зрения зависимости его использования от соотношения нагрузок на сторонах постоянного и переменного токов и от заданных режимов работы.

Соотношения между напряжениями и токами в генераторе „Микст“. Генератор двойного тока по своей конструкции представляет одноякорный преобразователь, имеющий механический привод от первичного двигателя и работающий со стороны коллектора и контактных колец в генераторном режиме.

Как известно, в одноякорном преобразователе существуют определенные соотношения между напряжениями и токами на коллекторе и контактных кольцах. В генераторе двойного тока определенные соотношения могут быть только между напряжениями постоянного и переменного токов; токи же на коллекторе и контактных кольцах не связаны между собой никакой определенной зависимостью, так как их значения определяются только величиной нагрузки на сторонах постоянного и переменного токов.

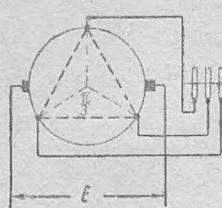
При выполнении обмотки якоря трехфазного генератора двойного тока, подобном обычному выполнению обмотки одноякорного пре-

образователя, когда ответвления к контактным кольцам берутся от точек обмотки, отстоящих друг от друга на $\frac{360}{mp}$ градусов, соотношение между э. д. с. постоянного и переменного токов при синусоидальном поле и при холостом ходе, как видно из фиг. 1, может быть выражено следующим уравнением:

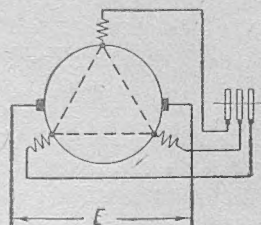
$$E_{\text{л}} = E_{\text{ф}} = E \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{2}} = 0,612 E, \quad (1)$$

где E — э. д. с. постоянного тока.

Получающаяся разница в напряжениях на коллекторе и контактных кольцах представляет большое неудобство, тем более, что при указан-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

ном выше соотношении э. д. с. одно из напряжений всегда получается нестандартным.

При выполнении обмотки якоря по схеме Рихтера, показанной на фиг. 2, напряжения на коллекторе и контактных кольцах могут быть сделаны равными¹. Добавочная э. д. с. переменного тока получается здесь от отдельной обмотки, приключаемой к основной обмотке якоря в точках ответвлений к контактным кольцам. Величина добавочной э. д. с. $E_{\text{д}}$ может быть определена из рассмотрения диаграммы э. д. с., показанной на фиг. 3.

Заменив соединение основной обмотки якоря в треугольник эквивалентной звездой, получим следующие значения э. д. с. $E_{\text{л}}$, $E_{\text{ф}}$ и $E_{\text{д}}$:

$$E_{\text{л}} = \overline{df}, \quad E_{\text{ф}} = \overline{od} = \frac{E_{\text{л}}}{\sqrt{3}}, \quad E_{\text{д}} = \overline{od} - \overline{oa}.$$

Так как э. д. с. постоянного и переменного токов должны быть равны, то для величины добавочной э. д. с. переменного тока окончательно получим:

$$E_{\text{д}} = \frac{E}{\sqrt{3}} - \frac{E}{2\sqrt{2}} = E \left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{1}{2\sqrt{2}} \right). \quad (2)$$

Этот вывод, очевидно, будет действителен только для синусоидальной э. д. с.; поэтому, в зависимости от величины $\alpha = \frac{b_i}{\tau}$, в найденное выражение для $E_{\text{д}}$ необходимо вводить поправочный коэффициент, под-

¹ Р. Рихтер, Обмотки якорей машин переменного и постоянного токов, 1933 г., стр. 112.

ставляя вместо $\sqrt{3}$ величину $k\sqrt{3}$, где коэффициент k определяется по кривой $k=f(\alpha)$, данной Walker'ом и приведенной на фиг. 4.

Добавочная обмотка переменного тока размещается в тех же пазах якоря, как и основная обмотка, но так как число витков этой обмотки невелико, то обычно бывают ею заполнены не все пазы.

Величина тока на контактных кольцах для генератора с одинаковыми напряжениями постоянного и переменного токов $U=U_{\text{л}}$ найдется из выражения:

$$I_{\text{л}} = \frac{P_{\text{пер.}}}{U\sqrt{3} \cos \varphi}. \quad (3)$$

Для генератора без добавочной обмотки переменного тока, имеющего неравные напряжения на коллекторе и контактных кольцах, получим:

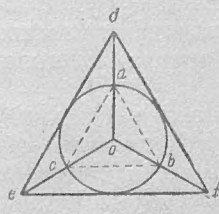
$$I_{\text{л}} = \frac{P_{\text{пер.}}}{U_{\text{л}}\sqrt{3} \cos \varphi},$$

а так как напряжение переменного тока на основании уравнения (1) будет равно

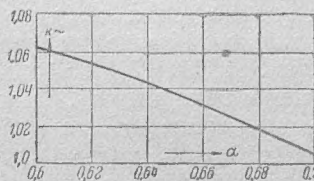
$$U_{\text{л}} = U \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}},$$

то

$$I_{\text{л}} = \frac{2\sqrt{2} P_{\text{пер.}}}{3 U \cos \varphi}.$$



Фиг. 3



Фиг. 4

Таким образом, в генераторе с одинаковыми напряжениями постоянного и переменного токов ток на контактных кольцах получается в $\frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$

раза меньше, что позволяет за счет уменьшения размеров контактных колец иметь более компактную конструкцию машины по сравнению с машиной без добавочной обмотки переменного тока.

Ввиду явных преимуществ генератора с одинаковыми напряжениями постоянного и переменного токов в дальнейшем будем рассматривать только этот тип машины.

Режимы работы генератора двойного тока. Генератор „Микст“ может работать в качестве генератора двойного тока и как генератор только постоянного или переменного тока. С точки зрения использования машины „Микст“ представляет интерес рассмотреть ее работу при различных соотношениях нагрузок постоянного и переменного токов, включая сюда и случаи нагрузки машины только одним родом тока.

За номинальную мощность генератора „Микст“ обычно принимается максимальная суммарная мощность P постоянного и переменного токов, которую генератор может дать без перегрева его обмоток сверх допустимых норм. Таким образом, будем иметь

$$P = P_{\text{пер.}} + P_{\text{пост.}} \quad (5)$$

Генератор двойного тока с конструктивной стороны представляет машину постоянного тока с пристроенными на валу контактными кольцами. Поэтому рассмотрение использования генератора двойного тока в различных режимах его работы удобнее всего будет производить путем сравнения с той же машиной, работающей на полную суммарную мощность P при нагрузке ее одним постоянным током, т. е. исходя из тока на коллекторе

$$I_{a \max} = \frac{P}{U}. \quad (6)$$

Очевидно, размеры коллектора будут определяться максимальным значением постоянного тока и будут наибольшими в том случае, когда от генератора двойного тока требуется на постоянном токе мощность $P_{\text{пост.}} = P$. Подобным же образом найдем, что размеры контактных колец получатся наибольшими при $P_{\text{пер.}} = P$.

Размеры якоря генератора двойного тока будут определяться не величинами в отдельности постоянного и переменного токов, а нагреванием основной обмотки якоря результирующим током, получающимся от сложения в каждом проводнике обмотки постоянного и переменного токов, и нагреванием добавочной обмотки переменного тока. Величина результирующего тока, как будет показано ниже, зависит как от соотношения между величинами постоянного и переменного токов, так и от значения коэффициента мощности нагрузки переменного тока.

Размеры генератора „Микст“ в значительной степени определяются заданными режимами его работы и, главным образом, тем, должна ли машина работать только как генератор двойного тока, или же она будет грузиться на полную суммарную мощность одним постоянным или одним переменным током.

В дальнейшем будем рассматривать работу генератора „Микст“ в наиболее характерных для этой машины режимах, указанных в таблицах 1 и 2, считая в обоих случаях, что при любых комбинациях нагрузок постоянного и переменного токов генератор нагружен на полную суммарную мощность.

Таблица 1

Характеристика нагрузки	$P_{\text{пост.}}$ в % от P	$P_{\text{пер.}}$ в % от P
—	—	—
Генератор двойного тока	75%	25%
	50%	50%
	25%	75%
—	—	—

Таблица 2

Характеристика нагрузки	$P_{\text{пост.}}$ в % от P	$P_{\text{пер.}}$ в % от P
Генератор постоянного тока	100%	0%
Генератор двойного тока	75%	25%
	50%	50%
	25%	75%
Синхронный генератор	0%	100%

Результирующий ток в основной обмотке якоря. В генераторе двойного тока с одинаковыми напряжениями на коллекторе и контактных кольцах в каждом проводнике основной обмотки якоря

постоянный и переменный токи налагаются друг на друга, а по проводникам добавочной обмотки протекает только переменный ток, равный линейному току.

Величина результирующего тока $i_{\text{рез.}}$ в каждом проводнике основной обмотки будет зависеть от взаимного расположения волн постоянного и переменного токов, обусловливаемого как положением проводника в фазе, так и углом ψ сдвига фаз между током и э. д. с. Переменный ток во всех проводниках каждой фазы в любой момент времени имеет одинаковое значение, постоянный же ток в различных проводниках той же фазы коммутруется не одновременно, а в разные моменты времени, в зависимости от положения проводника в фазе. Поэтому постоянный ток в отдельных проводниках фазы может иметь различное направление, в результате чего постоянный и переменный токи в некоторых проводниках будут вычитаться, а не складываться.

Если число параллельных ветвей обмотки якоря равно $2a$, то величина постоянного тока в одном проводнике будет

$$i_a = \frac{I_a}{2a}, \quad (7)$$

а величина переменного тока в том же проводнике будет равна

$$i = \frac{I_{\phi}}{a}. \quad (8)$$

Для определения величины результирующего тока рассмотрим расположение волн постоянного и переменного токов для среднего проводника фазы в двухполюсной машине. Для представленного на фиг. 5 положения якоря, когда одна из фаз расположена симметрично относительно нейтрали, э. д. с. этой фазы равна нулю, а так как угол сдвига фаз между током и э. д. с. предположен равным нулю, то будет равен нулю и переменный ток во всех проводниках этой фазы. Постоянный же ток равен нулю только в среднем проводнике фазы, так как в рассматриваемый момент времени ток коммутруется только в этом проводнике; во всех же остальных проводниках фазы постоянный ток будет равен $\pm i_a$; в проводниках, лежащих справа от нейтрали, он будет одного знака и в проводниках, расположенных слева от нейтрали, будет другого знака.

Таким образом, в среднем проводнике фазы постоянный и переменный токи одновременно проходят через нуль. Взаимное положение волн постоянного и переменного токов для среднего проводника представлено на фиг. 6б. Кривая изменения переменного тока является синусоидой с амплитудой $i\sqrt{2}$; кривая изменения постоянного тока будет прямоугольной формы, если за малостью периода коммутации пренебречь постепенным изменением тока от значения $+i_a$ до $-i_a$.

Кривая результирующего тока, получающаяся в результате сложения кривых постоянного и переменного токов, может быть выражена уравнением:

$$i_{\text{рез.}} = i_a + i\sqrt{2} \sin \omega t. \quad (9)$$

В крайнем проводнике рассматриваемой фазы, сдвинутом от среднего проводника на 60° по направлению вращения, кривая изменения во времени переменного тока будет та же, что и для среднего проводника, но кривая изменения постоянного тока будет занимать иное положение, так как этот проводник коммутруется раньше среднего

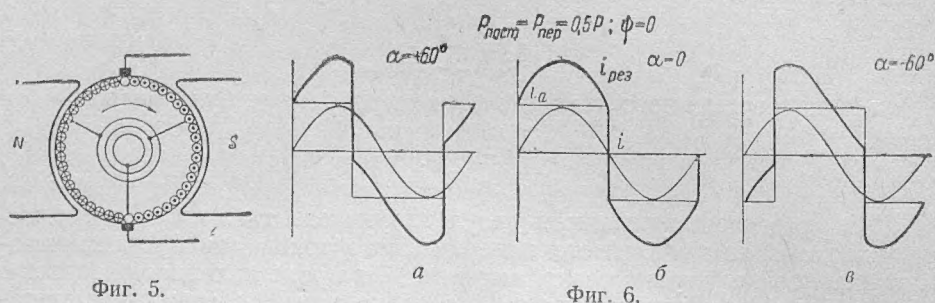
проводника на время, соответствующее повороту якоря на 60° . Кривая результирующего тока для этого проводника, показанная на фиг. 6а, выражается уравнением:

$$i_{\text{рез.}} = i_a + i\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right). \quad (10)$$

Очевидно, для проводника, сдвинутого на 60° против направления вращения якоря, кривая результирующего тока, показанная на фиг. 6в, выразится уравнением:

$$i_{\text{рез.}} = i_a + i\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right). \quad (11)$$

Если принять углы α по направлению вращения якоря положительными и против направления вращения отрицательными, то общее



Фиг. 5.

Фиг. 6.

выражение для результирующего тока в любом проводнике, сдвинутом на угол α от среднего проводника, будет следующее:

$$i_{\text{рез.}} = i_a + i\sqrt{2} \sin(\omega t - \alpha). \quad (12)$$

Из этого уравнения видно, что при $\psi = 0$ максимальное значение результирующего тока получается для среднего проводника фазы и минимальное — для крайних проводников фазы.

При наличии сдвига фаз между током и э. д. с. на угол ψ получим для результирующего тока в любом проводнике, сдвинутом от среднего проводника фазы на угол α , следующее общее выражение:

$$i_{\text{рез.}} = i_a + i\sqrt{2} \sin(\omega t - \alpha - \psi), \quad (13)$$

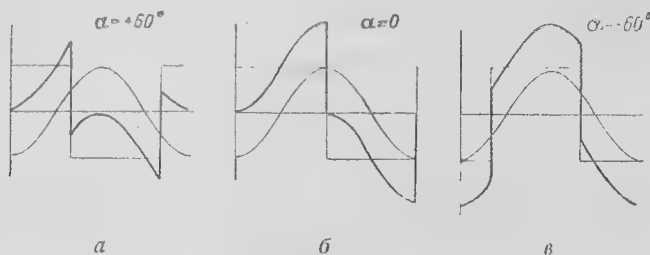
где угол ψ положителен для случая отставания тока от э. д. с. и отрицателен для случая опережения.

При построении кривой результирующего тока для проводника, имеющего сдвиг от среднего проводника фазы на угол $\pm\alpha$, при наличии сдвига по фазе между током и э. д. с. на угол $\pm\psi$, необходимо принимать во внимание оба угла сдвига α и ψ с их знаками.

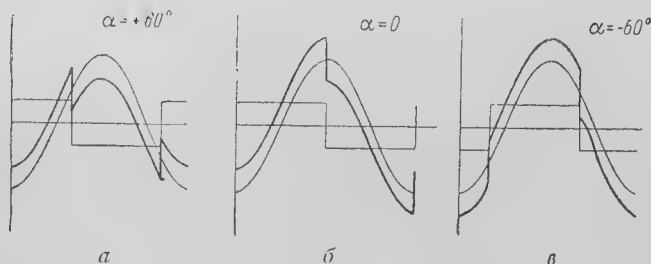
На фиг. 7 для сравнения с фиг. 6 показаны кривые результирующего тока в среднем и крайних проводниках фазы при сдвиге тока на угол $\psi = 90^\circ$, а на фиг. 8 — кривые результирующего тока в тех же проводниках при другом соотношении значений постоянного и переменного токов.

Потери в обмотках якоря. Тепловые потери в каждом проводнике основной обмотки якоря определяются результирующим током или, точнее, средним квадратичным его значением. Чтобы получить среднее значение потерь в любом проводнике обмотки якоря, сдвинутом на угол α от середины фазы, нужно найти среднее квадратичное значение тока в этом проводнике за полупериод и умножить его на сопротивление проводника r .

Если возвести уравнение (13) в квадрат, проинтегрировать его по ωt в пределах от $\omega t = 0$ до $\omega t = \pi$, получить среднее квадратичное зна-



Фиг. 7.



Фиг. 8.

чение тока делением на π и умножить его на r , то найдем следующее среднее значение потерь в проводнике, имеющем сдвиг от середины фазы на угол α :

$$\begin{aligned}
 p_{\text{ср.}} &= \frac{r}{\pi} \int_{\omega t=0}^{\omega t=\pi} i_{\text{рез.}}^2 d\omega t = \frac{r}{\pi} \int_{\omega t=0}^{\omega t=\pi} [i_a^2 + 2i^2 \sin^2(\omega t - \alpha - \psi) + \\
 &\quad + 2\sqrt{2}i_a i \sin(\omega t - \alpha - \psi)] d\omega t = \\
 &= r \left[i_a^2 + i^2 + \frac{4\sqrt{2}}{\pi} i_a i \cos(\psi + \alpha) \right]. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Если проинтегрировать это последнее выражение по α в пределах от $\alpha = -\frac{\pi}{m}$ до $\alpha = +\frac{\pi}{m}$ и разделить результат интегрирования на $\frac{2\pi}{m}$, то получим среднее значение потерь в одном проводнике фазы,

а следовательно, и в одном проводнике обмотки якоря:

$$p_{\text{ср.}} = \frac{rm}{2\pi} \int_{\alpha = -\frac{\pi}{m}}^{\alpha = \frac{\pi}{m}} \left[i_a^2 + i^2 + \frac{4\sqrt{2}}{\pi} i_a i \cos(\psi + \alpha) \right] d\alpha =$$

$$= r \left[i_a^2 + i^2 + \frac{4\sqrt{2}}{\pi^2} m i_a i \sin \frac{\pi}{m} \cdot \cos \psi \right]. \quad (15)$$

Если уравнение (15) представить в виде $p_{\text{ср.}} = r i_{\text{экв.}}^2$, то эквивалентный ток, дающий одинаковые потери в проводнике, будет равен:

$$i_{\text{экв.}} = \sqrt{i_a^2 + i^2 + \frac{4\sqrt{2}}{\pi^2} m i_a i \sin \frac{\pi}{m} \cos \psi}.$$

Пренебрегая изменением сопротивления проводника при прохождении по нему переменного тока, т. е. заменяя активное сопротивление омическим, можно выразить сопротивление одного проводника обмотки r через сопротивление основной обмотки якоря R_a , измеренное на постоянном токе; получим для сопротивления r следующее выражение:

$$r = \frac{4a^2}{N} R_a, \quad (16)$$

где N — полное число проводников основной обмотки якоря.

Подставляя найденное значение r в уравнение (15) для средних потерь в одном проводнике, умножив это выражение на N и приняв во внимание уравнения (7) и (8) для токов i_a и i , получим окончательное выражение для джоулевых потерь в основной обмотке якоря:

$$P_{\text{сн } a} = R_a \left[I_a^2 + 4I_\phi^2 + \frac{8\sqrt{2}}{\pi^2} m \sin \frac{\pi}{m} I_a I_\phi \cos \psi \right]. \quad (17)$$

Для трехфазного генератора двойного тока, т. е. при $m=3$, выражение (17) получает следующий простой вид:

$$P_{\text{сн } a} \cong R_a [I_a^2 + 4I_\phi^2 + 3I_a I_\phi \cos \psi]. \quad (18)$$

На практике для вычисления потерь удобнее пользоваться линейным, а не фазным значением переменного тока. В этом случае получим для потерь такое выражение:

$$P_{\text{сн } a} \cong R_a \left[I_a^2 + \frac{4}{3} I_\Delta^2 + \sqrt{3} I_a I_\Delta \cos \psi \right]. \quad (18')$$

Потери в добавочной обмотке переменного тока выразятся, очевидно, так:

$$P_{\text{сн.д}} = 3I_\Delta^2 R_\Delta = 9I_\phi^2 R_\Delta. \quad (19)$$

Приняв во внимание на основании опытных данных, что сопротивление добавочной обмотки $R_d \cong \frac{R_a}{3}$, найдем следующие приближенные выражения для полных потерь в обеих обмотках генератора „Микст“:

$$P_{Cu} = P_{Cu a} + P_{Cu d} \cong R_a [I_a^2 + 7 I_\phi^2 + 3 I_a I_\phi \cos \psi] \quad (20)$$

и

$$P_{Cu} = P_{Cu a} + P_{Cu d} \cong R_a \left[I_a^2 + \frac{7}{3} I_d^2 + \sqrt{3} I_a I_d \cos \psi \right]. \quad (20')$$

Если же желательно более точное определение потерь в обмотках якоря, то оно может быть сделано в отдельности по формулам (18) или (18') и формуле (19). Конечно, точное вычисление потерь возможно лишь после построения диаграммы Потье и определения из нее значения угла ψ .

Произведенные по формулам (20) и (20') расчеты потерь показали совпадение полученных результатов с расчетом по заводской формуле:

$$P_{Cu} = 2,44 [j_1^2 G_{Cu_1} + j_2^2 G_{Cu_2}],$$

где j_1 — эквивалентная плотность тока в основной обмотке, j_2 — плотность тока в добавочной обмотке и G_{Cu_1} и G_{Cu_2} — веса меди основной и добавочной обмоток.

Преимуществом выведенных выше формул является крайняя простота расчета, избавляющая от определения эквивалентного тока и подсчета веса обмоток якоря.

Использование генератора двойного тока в различных режимах работы. Суммарная мощность генератора двойного тока с одинаковыми напряжениями на коллекторе и контактных кольцах может быть выражена следующим образом:

$$P = P_{\text{пост.}} + P_{\text{пер.}} = UI_a + UI_d \sqrt{3} \cdot \cos \varphi. \quad (21)$$

Обозначим коэффициент нагрузки генератора со стороны постоянного тока через k ; тогда коэффициент нагрузки со стороны переменного тока будет равен $1 - k$, а для мощностей на коллекторе и контактных кольцах будем иметь следующие значения:

$$P_{\text{пост.}} = kP, \quad (22)$$

$$P_{\text{пер.}} = (1 - k)P. \quad (23)$$

Для величины постоянного тока при любом значении коэффициента нагрузки k на основании уравнения (6) получим:

$$I_a = \frac{kP}{U} = kI_{a \text{ max.}} \quad (24)$$

Линейное значение переменного тока тоже можно выразить через $I_{a \text{ max.}}$:

$$I_d = \frac{(1 - k)P}{U\sqrt{3} \cos \varphi} = \frac{(1 - k)}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi} I_{a \text{ max.}} \quad (25)$$

Заменяя в уравнении (20') для полных потерь в обмотках якоря токи I_a и I_d их значениями из уравнений (24) и (25), получим:

$$P_{cu} = I_a^2 \max R_a \left[k^2 + \frac{7(1-k)^2}{9 \cos^2 \varphi} + \frac{k(1-k)}{\cos \varphi} \cdot \cos \psi \right]. \quad (26)$$

При работе машин на полную суммарную мощность в качестве генератора постоянного тока потери в обмотке якоря будут равны

$$P'_{cu} = I_a^2 \max R_a. \quad (27)$$

Отсюда отношение потерь в обмотках якоря генератора двойного тока к потерям той же машины, работающей генератором постоянного тока на полную суммарную мощность, будет следующее:

$$\xi = \frac{P_{cu}}{P'_{cu}} = k^2 + \frac{7(1-k)^2}{9 \cos^2 \varphi} + \frac{k(1-k)}{\cos \varphi} \cos \psi. \quad (28)$$

Это последнее выражение дает возможность определить использование мощности генератора двойного тока в различных режимах его работы.

Рассмотрим распределение потерь в генераторе в зависимости от соотношения нагрузок постоянного и переменного токов при $\cos \varphi = 0,85$. Согласно произведенным расчетам в этом случае можно принять $\cos \psi \approx 0,7$. Подставив эти значения для $\cos \varphi$ и $\cos \psi$ в выражение (28), получим

$$\xi = 1,25 k^2 - 1,33 k + 1,08. \quad (29)$$

Найдем теперь, при каком соотношении нагрузок постоянного и переменного токов получается минимум потерь в обмотках якоря генератора двойного тока. Берем производную $\frac{d\xi}{dk}$ и приравниваем ее нулю; получаем:

$$\frac{d\xi}{dk} = 2,50 k - 1,33 = 0,$$

откуда $k = 0,53$; так как вторая производная положительна, то найденное значение $k = 0,53$ действительно соответствует минимуму потерь.

При определении наивыгоднейшего соотношения постоянного и переменного токов приближенно был принят $\cos \psi \approx 0,7$, но, как показывают соответствующие расчеты, значение k , дающее минимум потерь в обмотках якоря, остается почти постоянным для $\cos \psi = 0,65 \div 0,8$.

Найдем величину отношения ξ в различных режимах работы машины при том же значении $\cos \varphi = 0,85$ для нагрузки на стороне переменного тока. Очевидно, что при $\xi < 1$ машину „Микст“, работающую в качестве генератора двойного тока, можно загрузить при тех же допустимых перегревах обмотки якоря сильнее, чем при работе ее в режиме генератора постоянного тока, развивающего ту же суммарную мощность P . Так как потери в обмотке якоря пропорциональны квадрату тока, то генератор двойного тока можно нагрузить, по сравнению с генератором постоянного тока, больше в отношении

$\sqrt{\frac{1}{\xi}}$. Результаты подсчетов сведем в следующую таблицу:

Таблица 3

k	$1 - k$	α	$\gamma = \frac{P_{\text{ген. дв. тока}}}{P_{\text{ген. пост. тока}}}$	Коэффициент использования η %
1	0	1	1	85
0,75	0,25	0,795	1,120	95,4
0,53	0,47	0,725	1,175	100
0,25	0,75	0,826	1,110	94,5
0	1	1,08	0,963	82

Из таблицы 3 видно, что при наивыгоднейшем $k = 0,53$ генератор двойного тока может быть нагружен на 17,5% больше, чем одноступенчатая машина постоянного тока; при других же значениях k , больших и меньших наивыгоднейшего, генератор двойного тока допускает меньшее повышение мощности. Если принять максимальную мощность генератора двойного тока при $k = 0,53$ за 100%, то использование его мощности в остальных режимах определится данными последней графы таблицы 3. Обращаясь к характеризующим работу генератора двойного тока таблицам 1 и 2, видим, что при работе его в режимах, указанных в таблице 1, размеры машины будут определяться режимом при $k = 0,25$, как дающим наибольшие потери по сравнению с двумя предыдущими режимами; при работе генератора в режимах таблицы 2 размеры машины будут определяться режимом работы в качестве синхронного генератора, когда потери в обмотках якоря будут даже больше, чем в генераторе постоянного тока.

Таким образом, преимущества генератора двойного тока, заключающиеся в возможности повышения суммарной мощности, по сравнению с режимом работы только на постоянном токе, могут полностью быть использованы лишь в оптимальном варианте машины, работающей на полную суммарную мощность при наивыгоднейшем соотношении нагрузок постоянного и переменного токов и при пониженной мощности в остальных режимах, как это указано в последней графе таблицы 3. При работе генератора двойного тока в режимах таблицы 1 использование машины определяется режимом при $k = 0,25$, так как в этом режиме машина должна отдавать полную суммарную мощность. Коэффициент использования будет составлять в этом режиме

$$\eta = \frac{1,110}{1,175} \cdot 100 = 94,5\%;$$

при работе в режимах таблицы 2 использование машины определяется режимом при $k = 0$ и будет составлять

$$\eta = \frac{0,963}{1,175} \cdot 100 = 82\%.$$

Использование мощности машины в остальных режимах таблиц 1 и 2 будет еще меньшим, так как при переходе к режимам с большими значениями коэффициента нагрузки k машина будет давать ту же суммарную мощность, как и в режимах при $k = 0,25$ (при работе согласно таблице 1) или при $k = 0$ (при работе согласно таблице 2), в то время как, исходя из потерь, ее можно было бы загрузить значительно больше. Очевидно, использование мощности в любом из

режимов найдется из отношения мощностей, указанного в предпоследней графе таблицы 3. Так, например, при $k=0,53$ использование мощности машины при работе в режимах таблицы 1 будет равно

$$\eta = 94,5 \cdot \frac{1,110}{1,175} = 89,3\%$$

а при работе в режимах таблицы 2 составит

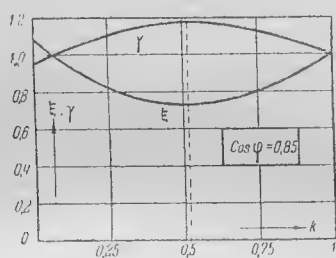
$$\eta = 82 \cdot \frac{0,963}{1,175} = 67,2\%$$

Пользуясь этим методом, можно составить следующую таблицу использования генератора двойного тока при различных вариантах его работы:

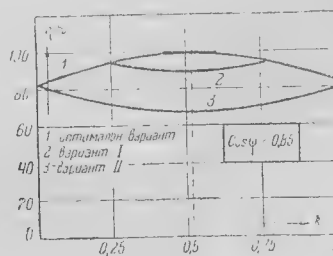
Таблица 4

Соотношение нагрузок постоянного и переменного токов		Использование мощности генератора двойного тока в %		
k	$1-k$	Оптимальный вариант	Вариант I (таблица 1)	Вариант II (таблица 2)
1	0	85	—	79
0,75	0,25	96,4	93,5	70,5
0,53	0,47	100	89,3	67,2
0,25	0,75	94,5	94,5	71,1
0	1	82	—	82

По данным таблиц 3 и 4 на фиг. 9 построены кривые изменения потерь и отношения мощностей генератора „Микст“ и той же машины,



Фиг. 9.



Фиг. 10.

работающей в качестве генератора постоянного тока, а, на фиг. 10—кривые использования мощности генератора „Микст“ при расчете его соответственно различным режимам эксплуатации: оптимальному и согласно таблицам 1 и 2.

Таблица 4 была составлена в предположении, что $\cos \psi \approx 0,7$. Так как угол ψ в зависимости от расчетных параметров машины может изменяться, то для выяснения влияния угла ψ на использование мощности генератора двойного тока составим для $\cos \psi = 0,77$ таблицу 5,

аналогичную таблице 3. Минимум потерь в обмотках якоря в этом случае получается при $k = 0,534$, что следует из уравнения

$$\xi = 1,17 k^2 - 1,25 k + 1,08.$$

Таблица 5

Соотношение нагрузок постоянного и переменного токов		ξ	$\nu = \frac{P_{\text{ген. дв. тока}}}{P_{\text{ген. пост. тока}}}$	Использование мощности генератора двойного тока в %		
k	$1 - k$			Оптимальный вариант	Вариант I (таблица 1)	Вариант II (таблица 2)
1	0	1	1	86,4	—	80,2
0,75	0,25	0,8	1,118	96,5	92	71,7
0,534	0,466	0,746	1,158	100	88,8	69,3
0,25	0,75	0,84	1,092	94,3	94,3	73,4
0	1	1,08	0,963	83,2	—	83,2

Сравнивая данные таблиц 4 и 5, видим, что при уменьшении угла сдвига фаз ψ между током и э. д. с. использование мощности генератора двойного тока повышается очень незначительно. Изменение угла ψ в зависимости от величины нагрузки переменного тока, согласно произведенным расчетам, очень невелико и почти совсем не сказывается на величине коэффициента использования, благодаря чему оказалось вполне возможным в предыдущих расчетах считать при определенном значении $\cos \varphi$ угол ψ постоянным при всех нагрузках.

Определим теперь использование мощности генератора двойного тока при $\cos \varphi = 1$. Как показывает построение ряда диаграмм Потье, в этом случае можно принять $\cos \psi \approx 0,95$. При подстановке в уравнение (28) этих значений $\cos \varphi$ и $\cos \psi$ получим:

$$\xi = 0,827 k^2 - 0,604 k + 0,777. \quad (30)$$

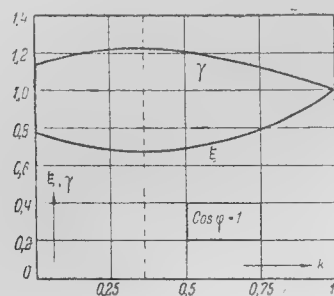
Взяв производную от этого выражения и приравняв ее нулю, найдем, что минимум потерь при работе с $\cos \varphi = 1$ получается при $k = 0,366$.

Для нахождения отношения потерь ξ и отношения мощностей ν в различных режимах составляем следующую таблицу:

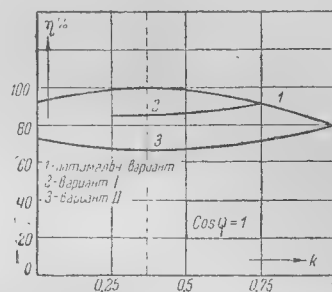
Таблица 6

Соотношение нагрузок постоянного и переменного токов		ξ	$\nu = \frac{P_{\text{ген. дв. тока}}}{P_{\text{ген. пост. тока}}}$	Использование мощности генератора двойного тока в %		
k	$1 - k$			Оптимальный вариант	Вариант I	Вариант II
1	0	1	1	81,6	—	81,6
0,75	0,25	0,789	1,126	91,9	91,9	72,6
0,50	0,50	0,692	1,203	98,2	86	67,8
0,366	0,634	0,667	1,225	100	84,4	66,6
0,25	0,75	0,678	1,215	99,1	85,1	67,2
0	1	0,777	1,135	92,6	—	72

Сравнивая данные этой таблицы с полученными ранее для работы машины при $\cos \varphi = 0,85$, видим, что при преобладании нагрузки переменного тока использование мощности значительно повышается и, наоборот, использование сильно уменьшается при переходе к большим нагрузкам на стороне постоянного тока; кроме того, максимум потерь получается при меньшей нагрузке постоянного тока. Машина „Микст“ при работе с $\cos \varphi = 1$ получается, таким образом, как бы в большей степени машиной переменного, чем постоянного тока. Использование в различных эксплуатационных режимах максимальной возможной



Фиг. 11.



Фиг. 12.

мощности генератора двойного тока, получающейся при наивыгоднейшем соотношении нагрузок постоянного и переменного токов, показано для случая $\cos \varphi = 1$ в последних графах той же таблицы 6.

Кривые изменения потерь и мощностей для этого случая представлены на фиг. 11, а кривые использования мощности на фиг. 12.

Посмотрим теперь, как изменяются потери и использование мощности генератора двойного тока при других значениях коэффициента мощности нагрузки переменного тока. Результаты расчетов представлены в таблицах 7, 8 и 9.

Таблица 7

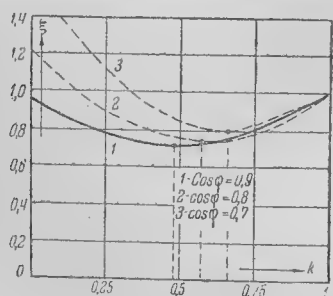
$\cos \varphi = 0,9; \cos \psi = 0,78; \xi = 0,997 k^2 - 0,957 + 0,96$						
Соотношение нагрузок постоянного и переменного токов		ξ	ν	Использование мощности генератора двойного тока в %		
k	$1-k$			Оптимальный вариант	Вариант I	Вариант II
1	0	1	1	84,2	—	84,2
0,75	0,25	0,803	1,116	94	94	75,5
0,48	0,52	0,709	1,187	100	88,3	71
0,25	0,75	0,783	1,13	95,2	92,8	74,5
0	1	0,96	1,022	86	—	82,5

Таблица 8

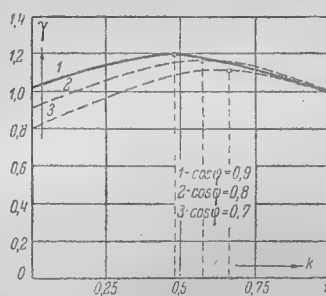
$\cos \varphi = 0,8; \cos \psi = 0,65; \xi = 1,403 k^2 - 1,619 k + 1,216$						
Соотношение нагрузок постоянного и перемен- ного токов		ξ	γ	Использование мощности генератора двойного тока в %		
k	$1-k$			Оптималь- ный вариант	Вариант I	Вариант II
1	0	1	1	86,1	—	70,7
0,75	0,25	1,788	1,128	97,3	88,3	62,7
0,577	0,423	0,744	1,16	100	82,5	61
0,25	0,75	0,899	1,053	90,9	90,9	67,2
0	1	1,216	0,906	78	—	78

Таблица 9

$\cos \varphi = 0,7; \cos \psi = 0,56; \xi = 1,786 k^2 - 2,372 k + 1,586$						
Соотношение нагрузок постоянного и перемен- ного токов		ξ	γ	Использование мощности генератора двойного тока в %		
k	$1-k$			Оптималь- ный вариант	Вариант I	Вариант II
1	0	1	1	89,5	—	56,6
0,665	0,335	0,8	1,118	100	72,5	50,6
0,5	0,5	0,847	1,086	97,2	74,5	52,1
0,25	0,75	1,104	0,952	85,2	85,2	59,5
0	1	1,586	0,795	71,2	—	71,2

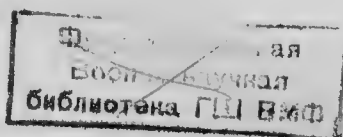


Фиг. 13.

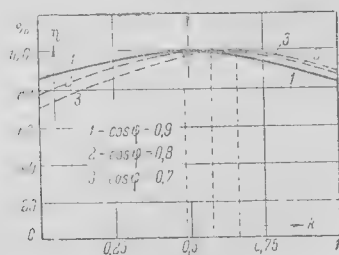


Фиг. 14.

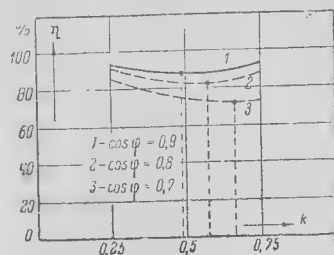
По данным таблиц 7—9 на фиг. 13 и 14 построены для различных значений $\cos \varphi$ кривые отношения потерь в обмотках якоря генератора двойного тока и той же машины, работающей в режиме генератора постоянного тока, а также кривые, показывающие возможное, благодаря уменьшению потерь, увеличение мощности генератора двой-



ного тока по сравнению с использованием его в качестве генератора постоянного тока. По тем же данным на фиг. 15, 16 и 17 построены кривые использования генератора двойного тока для тех же значений $\cos \varphi$ при различных вариантах его работы — оптимальном и указанных в таблицах 1 и 2.



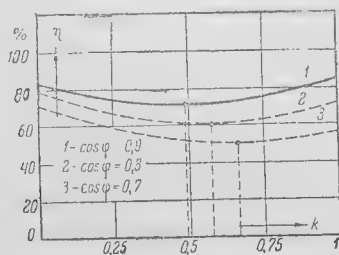
Фиг. 15.



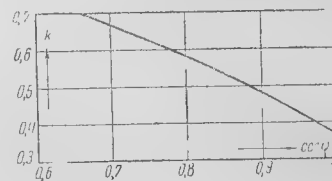
Фиг. 16.

Как видно из таблиц 3—9 и фиг. 9—17, значения наиболее выгодного соотношения нагрузок постоянного и переменного токов, при которых получают минимальные потери в обмотках якоря, по мере уменьшения $\cos \varphi$ смещаются в сторону преобладания нагрузки постоянного тока, что вполне понятно, так как с уменьшением $\cos \varphi$, при сохранении постоянной величины мощности, растет величина переменного тока в обмотках якоря, а следовательно, растут и потери.

Кривая зависимости от величины коэффициента мощности значений k , соответствующих минимуму потерь, представлена на фиг. 18.



Фиг. 17.



Фиг. 18.

Выше было показано, что изменение $\cos \varphi$ очень мало влияет на величину коэффициента использования мощности генератора двойного тока. Поэтому можно для ориентировки при предварительных расчетах привести зависимость $\cos \psi$ от $\cos \varphi$, что позволит избежать построения диаграмм Потье для определения угла ψ . Такая зависимость некоторых средних для генераторов двойного тока значений $\cos \psi$ от величины коэффициента мощности показана на фиг. 19.

Суммируя все предыдущие положения, можно сделать некоторые определенные выводы относительно использования генератора двойного тока.

При работе машины в режиме генератора двойного тока, от нее при значениях $\cos \varphi$ в пределах от 1 до 0,8 может быть получена большая мощность, чем при работе той же машины в качестве генератора постоянного или переменного тока. Величина этой избыточной мощности зависит от потерь в обмотках якоря, и максимум ее получается для каждого значения коэффициента мощности при определен-

ном соотношении величин нагрузок постоянного и переменного токов. При отклонении от этого наивыгоднейшего соотношения машина имеет повышенные потери в обмотках якоря и может отдавать при допустимых перегревах только пониженную мощность. Если машина должна работать на полную суммарную мощность и при других соотношениях нагрузок постоянного и переменного токов, кроме наивыгоднейшего, то размеры якоря необходимо будет увеличить в соответствии с максимальным коэффициентом использования мощности в вариантах I или II для заданного значения.

Для получения минимальных размеров якоря необходимо задавать режимы работы генератора двойного тока таким образом, чтобы максимальная суммарная мощность требовалась от машины только при наивыгоднейшем соотношении нагрузок постоянного и переменного токов или близком к наивыгоднейшему, что при $\cos \varphi = 0,8 \div 0,9$ будет примерно в случае равенства нагрузок постоянного и переменного токов; в остальных же режимах мощность должна снижаться в соответствии с приведенными выше значениями коэффициента использования для оптимального варианта работы машины.

Как видно из таблиц 6—9, наибольшие размеры машины получаются в случае работы по варианту II, когда в зависимости от величины коэффициента мощности они будут определяться потерями в режимах генератора постоянного или переменного тока.

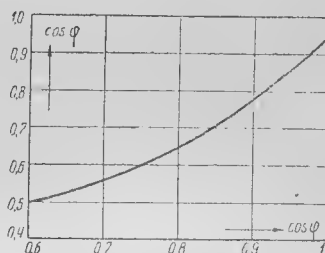
Так как при расчете генератора двойного тока в качестве исходного типа берется машина постоянного тока, то для определения основных размеров якоря можно воспользоваться имеющимися значениями машинных постоянных для машин постоянного тока, внося в уравнение для машинной постоянной поправку на избыточную мощность, получающуюся при работе в режимах генератора двойного тока. Тогда выражение для машинной постоянной Арнольда напишется в следующем виде:

$$C = \frac{D^2 \ln}{\nu P}, \quad (31)$$

где

$$\nu = \frac{P_{\text{ген. дв. тока}}}{P_{\text{ген. пост. тока}}} \text{ берется из таблиц 3—9}$$

для того режима, по которому приходится определять размеры машины.



Фиг. 19.

Что же касается размеров магнитной системы (полюсов и станины) генератора двойного тока, то они оказываются большими, чем у исходной машины постоянного тока; главным образом, возрастает высота главных и добавочных полюсов: первых—вследствие необходимости увеличения ампервитков шунтовой обмотки для компенсации реакции якоря от переменного тока и вторых—для возможности размещения добавочной шунтовой обмотки.

Все выводы по использованию мощности генератора двойного тока в настоящей работе сделаны исходя только из джоулевых потерь в обмотках якоря; потери в железе, весьма малые, в этих выводах не принимались во внимание.

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ МАГИСТРАЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ОДНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ДРУГОЙ

Ф. Е. Семикин

Воен. инж. 2 ранга

В процессе эксплуатации корабельной сети переменного тока часто производится переключение магистрали, питающей ряд приемников переменного тока, с одного генератора на другой.

В нормальных условиях это вызывается необходимостью более равномерной эксплуатации отдельных корабельных генераторов, а в боевых условиях—необходимостью перевода наиболее ответственных механизмов на питание от резервного генератора вследствие выхода из строя одного из главных генераторов.

Желательным и весьма необходимым условием, в особенности в боевой обстановке, является то, чтобы при переключении магистрали с одного генератора на другой не происходила остановка электродвигателей.

Остановка электродвигателей приводит к нарушению режима работы приводов и вызывает большие потери времени на повторный пуск. Выясним возможность осуществления переключения магистрали переменного тока с одного генератора на другой без остановки электродвигателей, разобрав поведение различных типов электродвигателей и поведение пусковой и защитной аппаратуры.

1. Переключение асинхронных электродвигателей. При отключении асинхронных электродвигателей магнитный поток, будучи связан с обмоткой ротора, вращается вместе с ним и затухает по экспоненциальному закону:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t},$$

где Φ_0 —магнитный поток, существовавший в асинхронном электродвигателе до момента отключения, R —активное сопротивление обмотки ротора, L —коэффициент самоиндукции обмотки ротора.

Магнитный поток после отключения асинхронного двигателя относительно ротора неподвижен, а по отношению к обмотке статора вращается с угловой скоростью ротора ω_2 и по величине убывает:

$$\Phi = \Phi_0 e^{\left(j\omega_2 - \frac{R}{L}\right)t}.$$

Асинхронный электродвигатель становится синхронной машиной, магнитный поток которой убывает. В статорной обмотке при этом индуцируется э. д. с., равная

$$E = -W_1 \Phi_0 \left[j\omega_2 - \frac{R}{L} \right] e^{(j\omega_2 - \frac{R}{L})t},$$

если считать, что ω_2 осталась величиной постоянной.

В таблице 1 и на фиг. 1 показан спад э. д. с. асинхронных двигателей в зависимости от времени после отключения от сети.

Фиг. 1. Кривые спада э. д. с. асинхронных двигателей после отключения от сети.

Кривая 1 — асинхронный двигатель типа МА (ЯГЭМЗ'а); $P=4,5$ квт, $I_H=18,9$ А; $U=220$ вольт, $n=1490$ об/мин. Двигатель соединен посредством муфты с генератором постоянного тока. Кривая 2 — асинхронный двигатель типа АД-41/4; $P=4,5$ квт, $I_H=15,4$ А, $U=220$ вольт, $n=1476$ об/мин. Кривая 3 — асинхронный двигатель типа МКА; $P=33$ квт, $I=118$ А, $U=220$ вольт, $n=745$ об/мин. Двигатель непосредственно соединен с низковольтным генератором постоянного тока. Кривая 4 — асинхронный двигатель завода б. Дюфлон; $P=0,5$ квт. Двигатель соединен непосредственно с вентилятором. Кривая 5 — асинхронный двигатель МКА-14 с кольцами, $P=5,5$ квт.

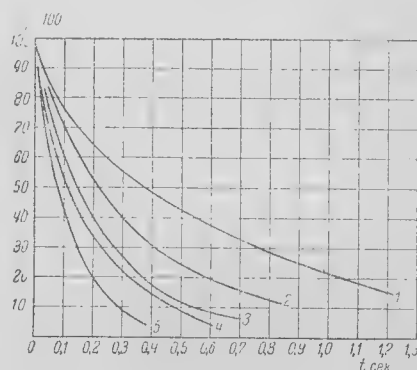


Таблица 1

Спад э. д. с. асинхронных электродвигателей после отключения от сети

Типы двигателей	МА	АД-41/4	МКА	Дюфлон	МКА-14	Группа асинхронных электродвигателей таблицы 2
	4,5 квт	4,5 квт	33 квт	0,5 квт	5,5 квт	
Время после отключения от сети в сек.	$E/U \cdot 100$	$E/U \cdot 100$	$E/U \cdot 100$	$E/U \cdot 100$	$E/U \cdot 100$	$E/U \cdot 100$
0,1	75	68	60	55	44,5	60
0,2	66	52,3	40	33,5	19,4	40
0,3	56	40	26,8	23,2	10	23
0,4	50	32,3	17	16		16,5
0,5	43,5	25,8	13	9,7		13,5
0,6	37,3	22,5	10	6,5		10
0,7	32	16	7			6,7
0,8	28	13	5			
0,9	23					
1,0	22					
1,1	19					
1,2	16					

Таблица 2
Непосредственный пуск и повторное включение асинхронных электродвигателей и группы асинхронных электродвигателей

№ пп	Типы асинхронных электродвигателей	P кВт	I _н	n _{обм.}	Время после отключения в сек.	I _{тах} ампер	$\frac{I_{\text{тах}}}{I_n}$	$\frac{I_{\text{тах}}}{I_{\text{н.ген}}}$	Время наступления установившегося состояния	Э. д. с. в момент включения		U генератора в момент включения		Снижение оборотов Δn в $\frac{0}{0}/\frac{0}{0}$
										в вольтах	в $\frac{0}{0}/\frac{0}{0}$ к U _н	в вольтах	в $\frac{0}{0}/\frac{0}{0}$ к U _н	
1	МА	4,5	18,9	1490	∞	125	6,61		1,8	—	—	194	88	6
2		"	"	"	1,28	127,5	6,62		0,18	38,7	17,50/0	181	82	
3		"	"	"	0,76	160	8,46		0,18	103	47	181	82	
4		"	"	"	0,64	72,5	3,83		0,12	103	47	181	82	
5	МКА	33	118	745	∞	792	6,53		1,74	—	—	116	53	4
6		"	"	"	1,38	720	6,1		0,12	0	0	145	66	
7		"	"	"	0,78	674	5,7		0,06	29	13	188	85	
8		"	"	"	0,5	816	6,9		0,06	26	12	168	76	
9	Группа асинхронных двигателей	47,75	175,3	—	∞	945	5,37	3,19	3,5	—	—	103	47	4
10		"	"	—	0,94	726	4,14	2,45	0,16	0	0	192,5	87,5	
11		"	"	—	0,62	744	4,24	2,51*	0,16	25,8	12	145	66	
12		"	"	—	0,36	837	4,77	2,83	0,16	41	19	179	81,2	
13		"	"	—	∞	1055	6,0	3,65	—	—	—	134	60	
14		"	"	—	1,64	1900	6,79	4,02	0,18	0	0	178	81	
15		"	"	—	1,46	1136	6,47	3,84	0,18	0	0	147	66,6	
16		"	"	—	0,98	1100	6,3	3,77	0,16	0	0	195	87,5	
17		"	"	—	0,78	1055	6,0	3,57	0,16	14,7	7	178	81	
18		"	"	—	0,7	975	5,55	3,3	—	0	0	176	80	
19		"	"	—	0,5	920	5,25	3,11	0,16	31,4	14,3	176	80	

Примечание. I_{н.ген.} = 295А.

На фиг. 2 показаны кривые $E=f(t)$ для различных электродвигателей по данным испытаний на ХЭМЗ'е (см. технический отчет ХЭМЗ'а № 59 за 1939 г.).

При переключении асинхронного электродвигателя к моменту повторного включения в обмотке статора может иметься э. д. с., которая в общем случае будет отличаться от напряжения генератора по величине и фазе. Следовательно, при повторном включении асинхронного электродвигателя в самом неблагоприятном случае (величина э. д. с. близка к значению напряжения генератора и совпадает по фазе) можно ожидать пик тока больший, чем при непосредственном включении асинхронного электродвигателя на полное напряжение. Это подтверждается данными из осциллограмм (см. таблицу 2, испытания 1 и 3, 5 и 8, 13 и 14).

В таблице 2 приведены данные непосредственного пуска и повторного включения асинхронных двигателей МА и МКА и группы электродвигателей.

2. Переключение синхронных электродвигателей. При отключении синхронного электродвигателя магнитный поток полюсов затухает весьма медленно, так как даже при замыкании обмотки возбуждения на обычное разрядное сопротивление постоянная времени обмотки возбуждения достаточно велика.

Следовательно, можно считать, что магнитный поток синхронной машины, отключенной от сети, в первое время изменится незначительно.

Напряжение синхронной машины в первый момент несколько увеличится (если машина до отключения была нормально нагружена и возбуждена), а потом начнет уменьшаться вследствие снижения оборотов и уменьшения магнитного потока.

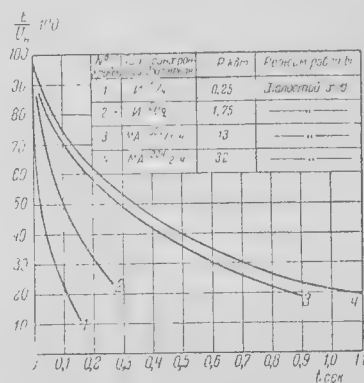
При переключении синхронного электродвигателя, к моменту повторного включения, э. д. с. двигателя может не совпадать по фазе и сильно отличаться по величине от напряжения генератора.

Как известно, при этом в неблагоприятном случае толчок тока может достигнуть удвоенного значения тока короткого замыкания, а это вызовет срабатывание защиты и отключение синхронного электродвигателя от сети.

Следовательно, для переключения синхронных электродвигателей с одного генератора на другой необходимо принимать специальные меры, применять специальные схемы.

ХЭМЗ рекомендует схемы с реле ресинхронизации, которые служат для перевода синхронной машины в облегченный асинхронный режим.

Но в техническом отчете ХЭМЗ'а № 59 за 1939 год указывается, что „при быстрых переключениях магистралей, синхронная машина по своему физическому состоянию (из-за медленного спада поля) не будет подготовлена к асинхронному пуску, несмотря на все пере-



Фиг. 2. Кривые спада э. д. с. асинхронных двигателей после отключения от сети.

ключения в схеме, и явления при включении на сеть будут соответствовать полностью возбужденной синхронной машине“.

Следовательно, на сегодня вопрос переключения синхронных электродвигателей с одного генератора на другой в корабельных условиях является еще не решенным.

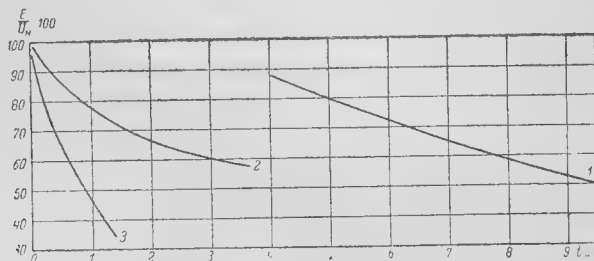
3. Совместная работа группы машин после отключения источника питания. При отключении магистрали от источника питания, благодаря наличию э. д. с. у всех приключенных к магистрали электродвигателей, напряжение в магистрали сохранится.

При наличии же в магистрали напряжения пусковая и защитная аппаратура не отключится. Все машины останутся попрежнему электрически связанными друг с другом, и будет проявляться взаимное влияние машин друг на друга.

Как было показано выше, магнитные потоки асинхронных электродвигателей в первый момент после отключения имеют полное значение, что при работе асинхронных двигателей уже в качестве генераторов обеспечивает синхронизирующие моменты достаточной величины. Вследствие достаточных синхронизирующих моментов произойдет самосинхронизация всех асинхронных машин, начавших работать в синхронном режиме.

Часть асинхронных машин (машины большей мощности) будет работать в режиме генератора, остальные (машины меньшей мощности)— в режиме двигателей, являясь индуктивной нагрузкой.

Напряжение магистрали вследствие исчезновения магнитной энергии и замедления скорости вращения всех машин будет постепенно снижаться.



Фиг. 3. Кривые спада э. д. с. после отключения генератора при различной нагрузке сети (см. табл. 3).

Кривая 1	Нагрузка сети
	Синхронный двигатель СТ-10А-34 при возбуждении 6 А
Кривая 2	Синхронный двигатель; 4 асинхронных двигателя
Кривая 3	Синхронный двигатель; 4 асинхронных двигателя; эквивалентная осветительная нагрузка

В лаборатории ХЭМЗ'а было проведено испытание совместной работы группы асинхронных и синхронного электродвигателей при отключении магистрали (таблица 3).

Таблица 3

Нагрузка сети	% от общей нагрузки	Ток возбуждения синхронной машины в амперах	Время t в секундах при E в % к U_n			
			80%	70%	60%	50%
Синхронная машина СТ-10А-34, 37,5 квт, 94 А, 1500 об/мин.		3,6	3,06	4,90	6,80	8,80
		6,0	5,05	6,28	7,72	9,50
		8,8	4,22	5,35	6,40	8,00
Синхронная машина СТ-10А-34. Четыре асинхронных двигателя:		3,6	0,195	0,528	1,120	—
1) МА 204/2-6; 32 квт		6,0	0,81	1,76	3,05	
2) МА 204/2-6; 32 квт		8,8	1,52	2,32	3,24	
3) МА 202/1-4; 13 квт						
4) И 10/4; 0,25 квт						
1) Синхронная машина СТ-10А-34, 37,5 квт	26,1	3,6	0,119	0,277	0,500	0,820
2) Четыре асинхронных двигателя общей мощностью 77,25 квт	53,7	6,0	0,208	0,396	0,627	0,895
3) Эквивалентная осветительная на- грузка 29 квт	20,2	8,8	0,227	0,518	0,817	1,153
$\Sigma P = 143,75$ квт	100%					

На фиг. 3 показан спад э. д. с. при различных нагрузках.

Как видно из кривых, синхронная машина оказывает существенное влияние на замедление процесса спада э. д. с. на общих шинах. Омическая же нагрузка, наоборот, вызывает ускорение процесса спада э. д. с. Так, например, время убывания напряжения до величины, равной 70% U_n , при параллельной работе всех асинхронных машин и наличии 20% омической нагрузки (при токе возбуждения синхронной машины, равном 6А) оказалось 0,4 сек., а без омической нагрузки 1,7 сек.

Необходимо отметить, что все машины работали без механической нагрузки.

4. Работа пусковой и защитной аппаратуры. Как было показано выше, в магистрали, отключенной от источника питания, вследствие перехода асинхронных электродвигателей в генераторный режим сохраняется напряжение, которое постепенно снижается.

Следовательно, пусковая и защитная аппаратура (контакты, реле и т. д.) в первый момент после отключения магистрали от генератора будет находиться под напряжением и не отключит потребителей.

По мере снижения напряжения в магистрали наступит такой момент, когда оставшееся напряжение не будет достаточным для питания

удерживающих катушек аппаратов управления и последние начнут срабатывать, отключая потребителей от сети.

Лабораторией ХЭМЗ'а была проделана большая работа по определению величины напряжения, при котором аппараты управления начинают срабатывать (см. технический отчет № 59 за 1939 г.).

Ниже приводятся некоторые данные из вышеуказанного отчета ХЭМЗ'а (табл. 4).

Таблица 4

Напряжение „частичного“ отпуска при $f = 50$ пер/сек.

Тип аппаратуры	Количество блок-контактов		I_n ампер	U катушки в вольтах	Среднее напряжение отпуска	
	НО	НЗ			U „частичного“ отпуска в вольтах	% к U_n
КТЗ-1	2	2	150	220	140	63,6
КТЗ-2	3	3	150	„	131	59,5
КТ2	2	2	80	„	85	38,6
ПМ1	2	2	40	„	118	53,7
ПМ0	1	1	20	„	112	50,8

Под напряжением „частичного“ отпуска понимается то напряжение, при котором магнитная система контактора начинает отходить при еще замкнутых контактах.

При испытании контакторов регулирование напряжения производилось при помощи автотрансформатора с плавной регулировкой. Контактры во время испытаний находились в нормальном вертикальном положении и спокойном состоянии.

В период между „частичным“ отпуском и полным раскрытием контактов имеется ослабленное нажатие, что при нагруженных контакторах может привести к их привариванию. Отсюда следует вывод, что подача питания магистрали от нового генератора должна быть произведена раньше, чем напряжение в магистрали снизится до напряжения „частичного“ отпуска контакторов.

В отключенной магистрали одновременно со снижением напряжения будет падать и частота.

В таблице 5 и на фиг. 4 показано влияние частоты на напряжение отпуска контакторов.

Как видно из таблицы 5, в силу более медленного спада магнитных потоков, при одновременном уменьшении напряжения и частоты напряжение отпуска контакторов уменьшается.

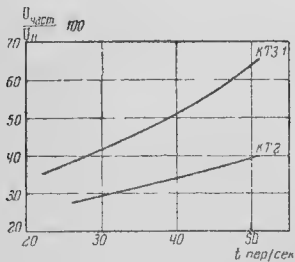
Последнее сказывается на увеличении времени отпуска контакторов, которое должно определяться по напряжениям отпуска, скорректированным по частоте.

В таблице 6 приведены данные напряжений „частичного“ и полного отпуска и время запаздывания отключения контактора (полного) для различных асинхронных электродвигателей.

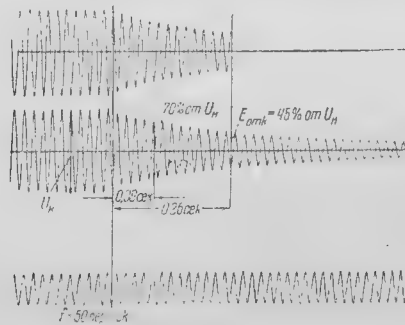
Таблица 5

Напряжение „частичного“ отпуска при различных частотах

Тип аппаратуры	Количество блок-контактов		I_n ампер	U катушки в вольтах	f герц	Среднее напряжение отпуска	
	НО	НЗ				U „частичного“ отпуска в вольтах	% к U_n
КТЗ-1	2	2	150	220	50	140	63,6
					45	129	58,6
					39	110	50
					26	85	38,6
КТ2	2	2	80	220	50	86	39,1
					40	77	35,0
					30	65	29,5



Фиг. 4. Напряжение „частичного“ отпуска контакторов при различных частотах.



Фиг. 5. Отключение от сети 220 вольт асинхронного двигателя АД-41/4 с контактором КТЗ-2.

Таблица 6

Тип электродвигателя	Режим работы	$P_{квт}$	Тип контактора	U „частичного“ отпуска		U полного отпуска		Частота		t запаздывания в сек.
				вольт	% к U_n	вольт	% к U_n	f герц	%	
И 10/4	холостой ход	0,25	КТЗ-2	131	59,5	73	33,2	47	94	0,048
МА 202/1-4	„	13	„	„	„	113	51,3	47,5	95	0,288
МА 204/2-6	„	32	„	„	„	111	50,4	48,5	97	0,334
МА 202/1-4	„	13	КТ2	85	38,6	70	31,8	47,6	95,1	0,56
И 21/2	„	1,75	„	„	„	54	24,6	48,5	97	0,30
АД-41/4	„	4,5	КТЗ-2	—	—	99	45	—	—	0,26

На фиг. 5. показана осциллограмма отключения двигателя АД—41/4 с контактором КТЗ-2.

По данным ХЭМЗ'а при напряжении ниже 70% от номинального уже возможны ненормальные поведения контакторов („частичный“ отпуск, приваривание и т. д.). Поэтому включение магистрали на новый генератор должно производиться раньше, чем напряжение магистрали упадет до 70% от U_n .

Следует отметить, что эксперименты в лаборатории ХЭМЗ'а производились с асинхронными машинами, работающими вхолостую, т. е. с максимальными исходными потоками и без тормозных нагрузочных моментов.

В таблице 7 приведены значения времени, при которых напряжение достигает 70% от U_n , по данным ХЭМЗ'а и полученные автором в лабораториях Военно-Морской Академии им. Ворошилова и ЦНИИ-45 для различных типов асинхронных электродвигателей.

Таблица 7

Тип электродвигателя	$P_{\text{кет}}$	Режим работы	Время спадания напряжения после отключения асинхронного двигателя до $U = 70\% U_n$ сек.
И 10/4	0,25	холостой ход	0,01
МА 202/1-4	13	„	0,123
МА 204/2-6	32	„	0,117
И 21/2	1,75	„	0,033
МА	4,5	„	0,15
МКА	33	„	0,05
АД-41/4	4,5	„	0,09

Примечание. Электродвигатели МА и МКА были соединены с генераторами постоянного тока, вращавшимися вхолостую.

5. Влияние осветительной нагрузки. Обычно при наличии на корабле переменного тока осветительная нагрузка приключается к магистрали переменного тока.

Как показали опыты, наличие омической нагрузки, подключенной параллельно к электродвигателям, весьма существенно влияет на интенсивность размагничивания и на снижение оборотов электродвигателей.

В таблице 8 приведены данные снижения э. д. с. в зависимости от времени и от величины параллельно подключенной к электродвигателю омической нагрузки.

На фиг. 5 построены кривые спадания э. д. с. электродвигателя согласно данным таблицы 8.

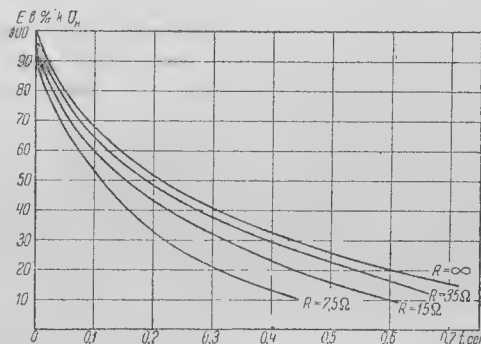
На основе опытных данных, полученных автором при испытании в лабораториях Военно-Морской Академии и ЦНИИ-45, и материалов ХЭМЗ'а (см. технический отчет № 59 за 1939 г.) относительно переключения магистрали переменного тока с одного генератора на другой можно сделать следующие основные выводы:

Таблица 8

R_{ϕ} ом	Эквивалентная осветительная нагрузка		Тип электро- двигателя	$P_{квт}$	E в % к U_n								
	$квт$	$\frac{0}{0}$ к $P_{элд.}$			Время t после отключения в сек.								
					0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
∞	0	0	АД-41/4	4,5	68 $\frac{0}{0}$	52,3 $\frac{0}{0}$	40 $\frac{0}{0}$	32,3 $\frac{0}{0}$	25,8 $\frac{0}{0}$	20,5 $\frac{0}{0}$	16 $\frac{0}{0}$	13 $\frac{0}{0}$	
70	0,70	15,1 $\frac{0}{0}$	"	"	67,5	51,5	38,6	32	25	21	15	11	
35	1,4	32,2 $\frac{0}{0}$	"	"	64,5	48,5	37	29	22,6	16,2	13	—	
15	3,24	72 $\frac{0}{0}$	"	"	60,4	43	31	22,4	15,5	10,4	—	—	
7,5	6,48	140 $\frac{0}{0}$	"	"	53,5	32,2	21,4	12,5	—	—	—	—	

1. Переключение магистрали переменного тока, питающей только асинхронные электродвигатели, с одного генератора на другой вполне возможно. Запас электромагнитной и кинетической энергии позволяет осуществить кратковременное питание аппаратов управления и части нагрузок в такой мере, чтобы последние не отключались до момента включения магистрали на другой генератор.

Фиг. 6. Кривые спада э. д. с. асинхронного двигателя после отключения от сети при наличии параллельно включенного омического сопротивления.



2. По данным ХЭМЗ'а минимально допустимым снижением напряжения удерживающих катушек аппаратов управления и т. п., ниже которого возможно ненормальное поведение аппаратов управления, является 70 $\frac{0}{0}$ от U_n .

3. Осветительная нагрузка резко влияет на увеличение спада напряжения в отключенной магистрали. Необходимо при переключениях магистрали или часть осветительной нагрузки выключать, или предварительно переводить ее на питание от другого источника.

4. Наличие синхронного электродвигателя, приключенного к магистрали, делает переключение магистрали с одного источника на другой без остановки приводов невозможным, так как пока еще нет в данном случае практически пригодного автоматического способа синхронизации.

5. Данные снижения напряжения в отключенной магистрали до 70 $\frac{0}{0}$ от U_n показывают, что переключение магистрали должно производиться за время не более $0,1 \div 0,2$ секунды.

К ВОПРОСУ О СПОСОБЕ РАСЧЕТА КОРАБЕЛЬНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

И. Б. Ле в и т и н

Воен. инж. 3 ранга, кандидат технических наук

1. Общие соображения. Корабельные осветительные установки, как известно, отличаются рядом специфических особенностей от установок берегового типа. Поэтому способы расчета освещения, обычно применяемые при проектировании установок фабрично-заводского или им подобного типа, могут быть применены на кораблях лишь с рядом оговорок. Помещения корабля по своим размерам, расположению в них оборудования, соотношению размеров светильников и расстояний от них до освещаемых поверхностей очень резко отличаются от помещений фабрично-заводских. Все это предъявляет ряд специальных требований к расчету освещения. При расчете освещения для корабельных помещений необходимо учитывать:

1) Загроможденность помещений оборудованием (механизмами, трубопроводами, платформами, мостиками и т. п.).

2) Наличие во многих помещениях корабля большого количества рабочих поверхностей (шкал приборов, рукояток, штурвалов и т. п.), обычно рассредоточенных по всему помещению в различных плоскостях.

3) Незначительную высоту подвеса светильников и небольшое расстояние от них до освещаемых поверхностей¹.

В связи с этим применение классических способов расчета освещения (метода коэффициента использования, точечного метода) возможно лишь в некоторых, совершенно определенных случаях, о чем будет сказано ниже. В наиболее же часто встречающемся случае для расчета освещения технических помещений, число которых на корабле очень велико, ни один из этих способов не является ни достаточно удобным, ни достаточно точным.

Все, сказанное выше, относится к достаточно точным расчетам при техническом проектировании. Расчеты при эскизном проектировании должны производиться каким-либо упрощенным способом, дающим лишь ориентировочное представление об общей потребной мощности ламп в данном помещении при выбранных заранее системе освещения и типе светильников.

¹ Высота подвеса 1,8—1,9 м над палубой, характерная для большинства корабельных помещений, и расстояния порядка 1—1,2 м от светильников до рабочей поверхности представляют нечто промежуточное между общим и местным освещением в обычном понимании, применительно к береговым установкам.

2. Принятые в настоящее время в ЦКБ способы расчета и возможные пределы их применения. В настоящее время во всех Центральных Конструкторских Бюро, ведущих проектирование электрооборудования кораблей, применяются, с теми или иными модификациями, классические способы расчета и, главным образом, в подавляющем большинстве случаев метод коэффициента использования. Проектировщики при этом не отдают себе отчета в том, насколько применимы эти способы в тех или иных случаях, и допускают благодаря этому грубейшие просчеты, легко обнаруживаемые затем при инструментальной приемке на кораблях выполненных осветительных установок. Рассмотрим применимость классических способов расчета для корабельных помещений.

а) Метод коэффициента использования. (расчет по световому потоку). Основное уравнение этого общеизвестного метода имеет следующий вид:

$$F = \frac{E_{\min} S \cdot C}{\eta \cdot z}, \quad (1)$$

где $E_{\min}$ — минимальная освещенность, выбираемая по нормам, в люксах;

S — площадь палубы освещаемого помещения, в m^2 ;

C — коэффициент запаса, учитывающий: а) старение ламп, б) загрязнение светильника, в) потерю светового потока в среде помещения (при наличии дыма, пара и т. п.), г) загрязнение переборок и подволока, д) отклонение реального потока ламп от номинального по стандарту, е) возможное колебание напряжения в сети;

η — коэффициент использования осветительной установки $\eta = \frac{F_{\text{рац.}}}{F}$; т. е. отношение светового потока, падающего на освещаемую

поверхность, к световому потоку, излучаемому всеми источниками света, составляющими осветительную установку; при проектировании величина η выбирается из таблиц в зависимости: а) от типа светильника, б) высоты подвеса светильника над освещаемой поверхностью, в) размеров помещения и г) окраски стен и потолка;

z — поправочный коэффициент, представляющий отношение минимальной освещенности на рассматриваемой горизонтальной поверхности к средней освещенности на ней $\left(z = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ср.}}} \right)$;

F — общий расчетный поток всех ламп в помещении, в люменах.

В ряде проектных корабельных бюро принято вписывать в знаменатель основной расчетной формулы еще сомножитель k — коэффициент, учитывающий поглощение светового потока оборудованием помещения. Вводить этот коэффициент в расчет по коэффициенту использования впервые предложил проф. П. М. Тиходеев.

Расчет освещения по методу коэффициента использования определяет лишь величину средней освещенности на выбранной для расчета горизонтальной поверхности (поверхности палубы или условной горизонтальной поверхности, на некоторой высоте над нею) при симметричном размещении светильников. Величина освещенности в тех или иных конкретных точках помещения может, конечно, отличаться от $E_{\text{ср.}}$. В этом способе расчета, правда, учитывается влияние светового потока, отраженного от подволока и переборок помещения (если

окраска их известна достаточно точно), на уровень средней освещенности в помещении, однако совершенно невозможно точно учесть влияние потерь светового потока, падающего на поверхности оборудования, и влияние теней от последнего. Упомянутый выше коэффициент k не может, конечно, учесть всех этих факторов. При этом не представляется возможным определить действительно получающуюся освещенность в определенной заданной точке помещения, а это в огромном большинстве случаев и требуется при расчете освещения в технических помещениях корабля.

Поэтому расчет по методу коэффициента использования может применяться лишь для помещений с симметричным размещением светильников, когда нет необходимости в строгом обеспечении заданной освещенности на конкретных рабочих поверхностях и когда должен быть обеспечен только средний уровень освещенности по всему помещению в целом. К таким помещениям на кораблях относятся: салоны, каюты, кают-кампаний, кубрики, библиотеки, красные уголки и т. п.

Для расчета освещения всяких иных помещений (технического и т. п. характера), где требуется создание определенной освещенности на определенным образом и различно расположенных поверхностях, этот метод неприменим. Вместе с тем, в ЦКБ этот метод, как говорилось выше, применяют для всех без исключения помещений, делая при этом крупные просчеты.

б) Точечный метод (расчет по силе света). Этот способ расчета, также широко известный, дает возможность определить освещенность в заданной точке любым образом расположенной освещаемой поверхности. Как известно, подсчет освещенности по этому способу дает достаточно точные результаты в том случае, когда расстояние от светильника до освещаемой поверхности не менее чем в 10 раз превосходит размер светящейся поверхности светильника и когда можно пренебречь отражением света от окружающих поверхностей. Это обстоятельство надо всегда иметь в виду при использовании точечного метода (так, например, расчет освещенности от светильников местного освещения этим методом, конечно, совершенно недопустим).

Основное уравнение точечного метода имеет, как известно, следующий вид:

$$E_A = \frac{I_a \cdot \cos \theta}{r^2}, \quad (2)$$

где E_A — освещенность в рассматриваемой точке A , в люксах; I_a — сила луча света светильника по направлению к точке A (составляющего угол α с осью симметрии светильника), в свечах; r — расстояние от светового центра светильника до точки A , в метрах, θ — угол между лучом, соединяющим центр светильника и точку A , и нормалью к освещаемой поверхности, проведенной в точке A .

Сказанное поясняется фиг. 1. При проектировании уравнение (2) для удобства несколько видоизменяют, а именно: 1) расстояние r , которое неудобно измерить в натуре, выражают через высоту подвеса светильника над освещаемой поверхностью h_p , 2) вводят коэффициент запаса C , значение которого выше указывалось, 3) пишут уравнение освещенности для частных случаев горизонтальной, вертикальной или наклонной освещаемой поверхности. Видоизмененные уравнения, употребляемые для расчетов, имеют следующий вид:

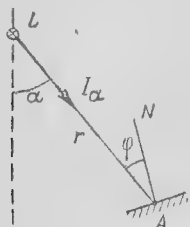
а) Освещенность горизонтальной плоскости (горизонтальная освещенность) E_r (фиг. 2).

$$E_r = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h_p^2 \cdot C} \quad (3)$$

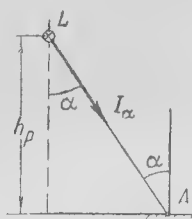
б) Освещенность вертикальной плоскости (вертикальная освещенность) E_v (фиг. 3).

$$E_v = E_r \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta, \quad (4)$$

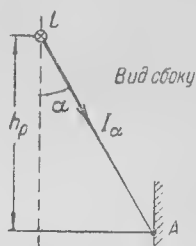
где E_r — определяется из формулы (3); β — угол, составленный проекцией на горизонтальную плоскость падающего в освещаемую точку A луча и нормалью к освещаемой плоскости, проведенной в точке A .



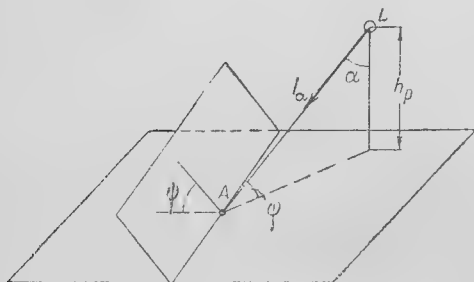
Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

в) Освещенность наклонной плоскости (наклонная освещенность) E_n (фиг. 4).

$$E_n = E_r \cos \psi \pm E_v \sin \psi \sin \varphi, \quad (5)$$

где E_r и E_v определяются соответственно из формул (3) и (4), причем E_v берется при $\beta = 0$; ψ — угол между наклонной плоскостью, на которой определяется освещенность, и горизонтальной плоскостью, φ — угол, составленный следом пересечения наклонной и горизонтальной поверхностей и следом пересечения плоскости падающего в точку A луча и горизонтальной плоскости (меньший из двух смежных углов).

Расчет по точечному методу весьма удобен для тех случаев, когда необходимо определить или гарантировать заданную освещенность на определенным образом расположенной освещаемой поверхности в определенной точке. Это важно для таких помещений корабля, в которых имеются механизмы, приборы и т. п., то есть для огромного большинства технических, навигационных и других помещений. Однако надо всегда помнить, что точечный метод применим в этих помещениях только в тех случаях, когда расстояние от светильника до освещаемой поверхности значительно больше размеров освещаемой поверхности.

щаемой площади достаточно велико, что далеко не всегда имеет место. Кроме того, точечный метод не учитывает влияния отраженного от переборок, перекрытий и оборудования светового потока. В том случае, когда расчет ведется для светильников направленного света и когда окружающие поверхности окрашены темной краской, ошибка от неучета отраженного потока незначительна. В противоположном случае ошибка может быть весьма значительной и приведет к завышению установленной мощности.

Наконец, расчет по точечному методу связан со значительным количеством вычислений.

В целях упрощения самого процесса расчета по точечному методу и уменьшения потребного для него времени предложено много различных графических интерпретаций точечного метода, обладающих, впрочем, теми же свойствами, что и аналитический способ расчета. Эти номографические способы расчета до сих пор не нашли себе применения в корабельных ЦКБ.

3. Удобные применительно к корабельным осветительным установкам способы расчета освещения. При правильной организации проектирования корабельных осветительных установок оно должно распадаться на три фазы:

а) эскизное проектирование, имеющее своей целью лишь ориентировочное определение потребных установленных мощностей ламп, типа и количества светильников в отдельных помещениях с целью учета этих данных при проектировании питания и при составлении заявок на оборудование для корабля;

б) техническое проектирование, в результате которого определяется точное число и расположение светильников, а также мощность ламп в каждом из них, и, наконец,

в) рабочее проектирование, в котором разрабатываются отдельные технические детали установки, способы крепления светильников и т. д.

Технический и рабочий проекты служат непосредственно для монтажа осветительной установки, в то время как эскизный проект для этих целей служить не может.

Этот общеизвестный порядок проектирования сплошь и рядом нарушается в корабельных ЦКБ. Проектирование осветительной установки ведется одновременно с проектированием размещения основных установок корабля, иногда по чертежам, на которых не указана точно расстановка оборудования. Само собою понятно, что такое проектирование можно считать в лучшем случае эскизным и никоим образом не техническим. Именно при таком проектировании ЦКБ и применяют способы расчета, упомянутые выше (и, главным образом, метод коэффициента использования).

Для эскизного проектирования нет никакой необходимости в расчетах, претендующих на некоторую точность. Расчеты при эскизном проектировании желательно вести по укрупненным показателям. Вполне уместно было бы вывести такие показатели из исполнительных и отчетных материалов по выстроенным и оборудованным кораблям различных классов и типов.

В качестве основного укрупненного показателя при данном типе светильников в помещении может быть предложена величина удельной объемной мощности (количество ватт на 1 м^3 помещения). Почти все классы кораблей имеют ряд помещений: машинные отде-

ния, котельные отделения, отдельные рубки и посты, кубрики, каюты и т. д., способы освещения которых подобны друг другу (в аналогичных помещениях применяются те же типы светильников, выбираются те же освещенности и т. д.). В различных классах кораблей разница может вноситься различным объемом помещений и различной плотностью заполнения их оборудованием. Но все это может быть легко учтено в виде некоторых усредненных для каждого типа кораблей показателей. Исполнительных материалов накоплено в настоящее время так много, что получение данных для составления укрупненных показателей не составляет труда.

Итак, должна быть выведена удельная объемная мощность ($вт/м^3$) для различных видов помещений и различных классов кораблей. Имея соответствующие таблицы и зная кубатуру помещений, нетрудно будет определить ориентировочные значения потребной мощности в помещении и количество светильников данного типа, что и даст ответ на задачу эскизного проектирования.

Подход к техническому проектированию и необходимые для него светотехнические расчеты должны быть совершенно иными. Выше уже говорилось, что эта фаза проектирования должна дать точное расположение светильников и точную мощность ламп в них. Разумеется, это проектирование можно вести, только используя чертежи-заготовки помещений с нанесенным на них основным оборудованием.

Но светотехнический расчет в этом случае должен производиться для многих рабочих мест и может быть довольно объемистым. Поэтому желательно, чтобы способ расчета был прост, а самая техника расчета занимала минимум времени при сохранении достаточной точности.

В качестве такого способа расчета можно всячески рекомендовать внедрение в корабельных ЦКБ расчета по пространственным изолюксам.

Этот расчет основан на следующем.

В пространстве, окружающем любой светильник, можно провести поверхности, соединяющие точки с одинаковой освещенностью (например, горизонтальной). Так как освещенности убывают по мере удаления от светильника, то поверхности равных освещенностей образуют ряд пространственных тел, как бы вставленных одно в другое.

Внутри каждого такого тела освещенность возрастает по мере приближения к светильнику и всегда больше, чем на ограничивающей поверхности. Если через ось симметрии светильника провести плоскость, то, пересекаясь с поверхностями равной освещенности, она образует семейство кривых (следов пересечения), каждая из которых есть геометрическое место точек одинаковой освещенности. Для симметричных светильников эти кривые будут одинаковы в любой плоскости, проходящей через ось светильника. Каждая точка в пространстве (освещаемая точка, относительно которой ведется расчет) при этом будет определяться двумя координатами: 1) высотой светильника h_p над данной точкой, причем высота эта измеряется по продолжению оси светильника, и 2) расстоянием l между проекцией точки и проекцией светильника на плоскость, перпендикулярную оси светильника (расстоянием в плане). Кривые одинаковых освещенностей, построенные в этих координатах, называются пространственными изолюксами.

Пространственные изолюксы строят как для горизонтальной освещенности E_r , так и для вертикальной освещенности E_v .

Пространственные изолюксы для данного типа светильника находят либо путем непосредственного измерения освещенности от светильника на различных расстояниях от него и при разных высотах подвеса, либо путем расчета по кривым относительной освещенности.

Относительной освещенностью (термин введен проф. Р. А. Сапожниковым) ε называется горизонтальная освещенность при высоте подвеса светильника над освещаемой поверхностью, равной 1 м.¹

$$\varepsilon = I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha. \quad (6)$$

При построении пространственных изолюкс из непосредственного измерения освещенностей точно замеряется световой поток лампы, с которой велась работа, и все значения освещенности пересчитываются для условной лампы в 1000 лм.

При построении пространственных изолюкс по кривым относительной освещенности поступают следующим образом. Для изолюкс горизонтальной освещенности берут уравнение, связывающее высоту светильника над освещаемой точкой с заданной горизонтальной освещенностью E_r , при заданном угле падения лучей α :

$$E_r = \frac{\varepsilon}{h_p^2}, \quad (7)$$

откуда $h_p = \sqrt{\frac{\varepsilon}{E_r}}$, где ε — относительная освещенность под заданным углом α .

При построении пространственных изолюкс вертикальной освещенности их подсчитывают для такого положения вертикальной плоскости, при котором она перпендикулярна плоскости падающего луча. Как известно, в этом случае вертикальная освещенность связана с горизонтальной (формула (4) при $\beta = 0$) следующим образом:

$$E_v = E_r \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (8)$$

В таком случае при построении пространственных изолюкс вертикальной освещенности взамен уравнения (7) берется следующее уравнение:

$$h_p = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \alpha}{E_r}}. \quad (9)$$

При дальнейшем пользовании кривыми вертикальной освещенности надо всегда помнить о равенстве (4) и учитывать поворот вертикальной плоскости относительно плоскости падающего луча.

Совершенно естественно, что при наличии пространственных изолюкс E_r и E_v может быть без труда рассчитана освещенность и на как угодно расположенных поверхностях; при этом надо использовать формулу (5) для наклонной освещенности.

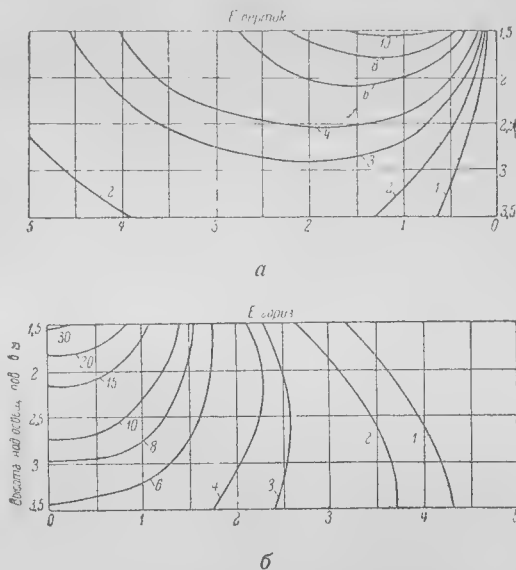
Самое построение пространственных изолюкс ведут следующим образом: 1) наносят на бумагу координатные оси h_p (высота подвеса) и l (расстояние от светильника в плане); 2) проводят от точки положения светильника радиальные линии, соответствующие углам α , через каждые 10° ; 3) определяют по кривым относительной освещенности, при заданном типе светильника, значения ε для каждого угла α ; 4) откладывают на каждой соответствующей радиальной линии по масштабу высот значения h_p , вычисленные по формулам (7) и (9), и соединяют полученные точки плавными кривыми.

¹ Метод построения кривых относительной освещенности см. в книге В. В. Мешкова и И. И. Соколова, Курс осветительной техники.

Вычисление пространственных изолюкс из кривых относительных освещенностей ведется для высот подвеса, не меньше чем в 10 раз превышающих размер светящейся части светильника. Основания для этого приводились уже выше.

На фиг. 5 показаны кривые пространственных изолюкс одного из типов принятых у нас корабельных светильников. Эти кривые относятся к условной лампе в 1000 лм.

Фиг. 5. Кривые пространственных изолюкс светильника МОФ-1-37 с лампой до 60 W, напряжением 110—220 V (для условной лампы в 1000 лм). Расстояние по горизонтали в метрах.



Само собой разумеется, что пространственные изолюксы, построенные в результате непосредственного замера освещенностей на близких от светильника расстояниях, вполне пригодны и для расчета местного освещения, в противоположность точечному методу, который, как уже говорилось выше, для этих целей неприменим.

Самый расчет освещения по методу пространственных изолюкс производится следующим образом. Пусть задана горизонтальная освещенность $E_{г \min}$ по нормам, которую надобно получить в точке на данной освещаемой поверхности, расположенной на расстоянии l_1 метров от проекции светильника в плане, причем светильник находится над поверхностью на высоте $h_{р1}$. По пространственным изолюксам горизонтальной освещенности для данного типа светильника находим значение горизонтальной освещенности $E_{г(1000)}$, соответствующее заданным величинам l_1 и $h_{р1}$ и лампе в 1000 лм. Это значение надо уменьшить в соответствии с выбранным коэффициентом запаса C . При расчете требуется определить световой поток лампы, которую необходимо иметь в светильнике, чтобы обеспечить освещенность по нормам $E_{г \min}$. Этот поток так относится к 1000 лм, как $E_{г \min}$ относится к полученной по кривым освещенности, поправленной на коэффициент запаса.

Иначе говоря, требуемый световой поток лампы $F_{л}$ выражается формулой:

$$F_{л} = \frac{E_{г \min}}{E_{г(1000)}} \cdot C \cdot 1000. \quad (10)$$

Обратный подсчет (расчет освещенности по заданной мощности лампы и расположению светильника относительно освещаемой поверхности) не требует никаких пояснений.

При совместном действии на освещаемую поверхность нескольких светильников освещенности должны, конечно, суммироваться.

Этот метод расчета очень прост, требует малой затраты времени и достаточно точен в том случае, если коэффициенты отражения окружающих поверхностей малы и светильник—направленного света,— иными словами, когда влиянием отраженного светового потока можно пренебречь (как выше уже говорилось, такие условия наиболее часты в корабельных помещениях технического характера).

В случае, если такие допущения сделать невозможно, следует рекомендовать комбинацию расчета по пространственным изолюксам с учетом действия отраженного потока (этот метод, под названием комбинированного метода расчета, предложил проф. А. А. Труханов).

Сущность метода заключается в том, что освещенность рассматриваемой рабочей поверхности считается составленной:

1) направленным светом от светильников, близко расположенных к рабочей поверхности,

2) действием светильников, удаленных от рабочей поверхности, и действием поверхностей, отражающих свет (стен, подволока, оборудования и т. д.).

При этом близко расположенными светильниками считают такие, которые создают значительную долю суммарной освещенности на рабочей поверхности. Практически, это такие светильники, которые посылают свет на рабочую поверхность не более, чем в предельном угле γ , зависящем от характера кривой распределения силы света светильника.

Значения углов γ для типовых групп светильников показаны в следующей таблице:

Типовые группы светильников	Предельный угол γ
Светильники глубокого излучения	до 45°
Светильники косинусного излучения	" 60°
Светильники широкого излучения	" 75°

Все светильники, посылающие свет на рабочую поверхность под углами, большими чем угол γ , считаются удаленными светильниками.

Освещенности от близко расположенных и от удаленных светильников рассчитываются отдельно:

1) Расчет направленного освещения от близко расположенных светильников производится по пространственным изолюксам, как это описано выше. В результате суммирования освещенностей от всех близко расположенных светильников получаем освещенность направленным светом $E_{\text{дп}}$.

2) Расчет освещения от удаленных светильников и от отраженного окружающими поверхностями светового потока производится совместно.

При этом считают, что удаленные светильники совсем не будут бросать прямого света на рабочую поверхность. С другой стороны, и ближайшие и удаленные светильники бросают свой свет за пределами угла γ на окружающие поверхности (стен, подволока). Световой поток, испускаемый каждым светильником за пределами угла γ , назовем добавочным потоком $F_{\text{доб.}}$. Этот поток заранее определяется для различных значений γ для каждого типа светильника и выписывается на расчетной номограмме при ее составлении (цифры проставляются у каждого значения угла γ). При этом предполагается, что пространственные изолюксы построены для условной лампы в 1000 лм. Тогда общий добавочный поток $F_{\text{отр.}}$, отраженный окружающими поверхностями, очевидно, выразится следующим образом:

$$F_{\text{отр.}} = k_{\text{д}} \cdot N F_{\text{доб.}}, \quad (11)$$

где $k_{\text{д}}$ — коэффициент использования добавочного потока, N — общее число светильников в освещаемом помещении.

С большой вероятностью допускается, что освещенность от светового потока $F_{\text{отр.}}$ распределится равномерно по всему помещению и будет равна:

$$E_{\text{доб.}} = \frac{F_{\text{отр.}}}{S \cdot C} = \frac{k_{\text{д}} N F_{\text{доб.}}}{S \cdot C}. \quad (12)$$

Здесь S — площадь помещения в м^2 , C — коэффициент запаса.

Коэффициенты использования $k_{\text{д}}$ добавочного потока находятся из специальных таблиц в зависимости от типа светильника и коэффициентов отражения стен и подволока. Этот коэффициент $k_{\text{д}}$ представляет разность между полным коэффициентом использования осветительной установки для данных условий и коэффициентом использования этой же осветительной установки с совершенно черными стенами и подволоком¹.

Полная освещенность на рабочей поверхности E равна сумме $E_{\text{пр.}}$ и $E_{\text{доб.}}$.

$$E = E_{\text{пр.}} + E_{\text{доб.}} \quad (13)^2$$

Комбинированный метод расчета освещения дает достаточно точные результаты только для помещений, не загроможденных оборудованием. В противном случае ошибки вносятся за счет неправильного учета отраженного светового потока. В помещениях, где применяются светильники направленного или преимущественно-направленного света, эти ошибки невелики. Если, вдобавок, оборудование и стены в этих помещениях имеют темную окраску, то можно не учитывать отраженный поток вовсе и, следовательно, вести расчет просто по пространственным изолюксам.

Следует надеяться, что внедрение описанных методов расчета в корабельных ЦКБ резко улучшит качество светотехнического проектирования, создаст большую точность расчетов и значительную экономию потребного для них времени.

¹ Подробнее об этом см. в книге В. В. Мешкова и И. И. Соколова, изд. 2-е, стр. 231—232.

² Добавочную освещенность можно также учитывать по способу, который предложили Розенкноп и Шлаен (см. о нем в книге В. В. Мешкова и И. И. Соколова).

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ ДЛЯ РЕМОНТА КОЛЛЕКТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Инж. Круценко

Существующие способы ремонта коллекторов электрических машин (при образовании на них различного рода механических выбоин, язв от обгорания и т. п.) трудоемки и не всегда могут быть применены. Для такого рода ремонта коллекторов крупных электрических машин предлагается новый, гальванопластический способ, который вследствие своей простоты и несложности потребного оборудования может найти широкое распространение. Приведем два случая ремонта коллекторов указанным способом.

В марте 1939 г. якорь главного электродвигателя типа ПГ 60/34 после проточки коллектора и шеек вала в механическом цехе был поврежден при подготовке якоря к отправке на объект: на одной ламели коллектора была сделана выбоина (вмятина) длиной 17 мм, шириной 5 мм и глубиной 1,5—2 мм. Площадь выбоины попадала под щетки, и, в случае оставления выбоины на коллекторе, могло возникнуть искрение под щеткой, находящейся на ней, и, как следствие этого, обгорание коллектора.

Протачивать коллектор вторично на 5 мм по диаметру, имея в виду первоначальную проточку 0,8 мм, было нежелательно, так как срок службы электродвигателя этим сокращался на 10 лет и ухудшались условия коммутации.

Однако специалисты по автогенной и электросварке из опасения повредить миканитовую изоляцию между ламелями отказались выполнить работы, связанные с заделкой пробоины.

Было решено заделать пробойну гальванопластическим способом. Результаты работы оказались отличными. Изъян был заделан настолько хорошо, что обнаружить его место было невозможно. Металл схватился очень крепко. Испытания якоря после установки его на подводной лодке показали хорошие результаты. Искрения и недопустимого перегрева обнаружено не было.

Этим же способом был отремонтирован другой коллектор главного электродвигателя подводной лодки с более серьезным повреждением.

Рабочий, работавший над электродвигателем, уронил лом, конец которого повредил край одной ламели и задел край второй. Глубина повреждения была 3 мм, ширина 4 мм, длина 17 мм. При ремонте обычными способами задача осложнялась бы тем, что якорь находился на подводной лодке и для проточки коллектора необходимо было поднять его из прочного корпуса подводной лодки и доставить в меха-

нический цех, для чего потребовалось бы расклепать съемный лист, нарушить надстройку и электропроводку в соответствующем отсеке. По существующим расценкам ремонт обошелся бы в 60 000 руб.; кроме того, это было бы связано с выходом подводной лодки из строя.

Предлагаемым способом эту работу выполнили в течение 30 часов, а результаты, как и в первом случае, были отличные.

Ниже приводится описание гальванопластического способа.

1. Подготовка поверхности. Для обеспечения лучшего прикрепления к коллектору электролитического осадка меди необходимо сначала тщательно очистить поврежденную поверхность механическим путем (шабром до блеска).

Затем, смочив ее 10—20% раствором каустической соды (NaOH), через 5 минут протереть резиновой пробкой, смоченной в том же растворе, промыть несколько раз дистиллированной водой и протереть сменяемыми порциями чистой ветоши или концами.

После того как поверхность обсохнет, к месту выбоины, соответственно ее размерам, прикрепляется прозрачный стеклянный сосуд без дна, причем вся площадь выбоины должна стать как бы дном сосуда. Прикрепление производится обыкновенной «менделеевской замазкой»¹, в которую для пластичности прибавляют 20—30% воска. При таком креплении стеклянный сосуд принимает устойчивое положение и электролит в нем хорошо держится.

В качестве сосуда может быть использована обыкновенная бутылка с обрезанным дном. В приведенных нами случаях была использована бутылка, установленная отверстием горлышка на коллектор (на выбоину).

Для более полной очистки поверхности меди коллектора от жира и уверенности в надежном сцеплении металла желательно после прикрепления стеклянного сосуда налить в него щелочи вышеупомянутой концентрации, через 5 минут с помощью резиновой трубки (сифона) вылить щелочь и троекратно промыть дистиллированной водой тем же способом. После промывки сосуд необходимо сразу же залить электролитом.

2. Приготовление электролита. Для приготовления электролита необходимо иметь дистиллированную воду, пентагидрат медного купороса ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) и чистую серную кислоту (H_2SO_4) удельного веса 1,8—1,84.

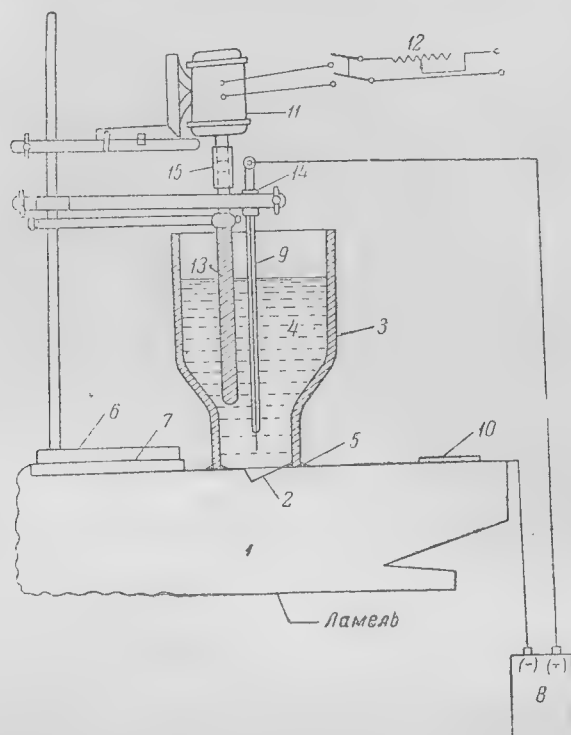
Растворяют 25% (по весу) медного купороса в 75% дистиллированной воды. Для полного и быстрого растворения медного купороса необходимо дистиллированную воду иметь горячей или производить подогрев в период процесса растворения. Когда медный купорос растворится, в раствор наливают 5—7% (по весу) серной кислоты. Нужно лить серную кислоту в раствор, а не наоборот, так как в последнем случае возможно распыливание серной кислоты.

3. Описание установки и процесса. На фигуре цифрой 1 обозначена ламель коллектора, 2—место повреждения, 3—стеклянный стакан, 4—электролит, 5—менделеевская замазка, 6—штатив, 7—деревянная прокладка, 8—аккумулятор, 9—медный электрод, 10—место присое-

¹ Менделеевская замазка—легкоплавкая мастика, употребляемая в лабораторной практике для примазки стеклянных, металлических и т. п. предметов. Приготавливается сплавлением 100 частей канифоли, 25 частей воска и 40 частей прокаленной мумии. Плотнo пристает к несколько нагретым сухим предметам.

динения минуса аккумулятора, 11—электродвигатель, 12—реостат, 13—стеклянная мешалка, 14—резиновая изоляция, 15—резиновая трубка, соединяющая вал электродвигателя с мешалкой.

Укрепив стеклянный сосуд 3, устанавливают штатив 6 и к нему укрепляют электродвигатель 11 мощностью 10—20 ватт (можно использовать электродвигатель для швейных машин), в цепь которого для регулирования интенсивности перемешивания включается реостат 12.



К валу электродвигателя посредством резиновой трубки 15 присоединяется стеклянная мешалка 13, которую желательно сделать в виде сверла. На этом же штативе укрепляется медная проволока 9 диаметром 2—3 мм (если подходящего сечения не найдется, можно ее заменить пучком хорошо очищенных проволок меньшего сечения), которая будет служить анодом.

Нижний конец медной проволоки не должен доходить до ламели на 1—1,5 см. Для создания в цепи электрического тока необходимо взять один кислотный аккумулятор 8 емкостью не менее 30 ампер-часов с электродвижущей силой в 2 вольта.

К поврежденной ламели с помощью грузика присоединяется провод от минусового полюса аккумулятора, т. е. ламель становится катодом. Плюс аккумулятора присоединяется к медной проволоке, которая должна быть изолирована в месте закрепления ее на штативе и будет являться анодом.

В электролите вышеуказанной концентрации, при расстоянии между электродами 10—15 мм, от аккумулятора напряжением около 2 вольт

возникает ток силой в 0,2—0,3 ампера, который обеспечивает хорошее осаждение меди на месте повреждения. Скорость отложения металла при такой установке будет равна 0,1 мм в час.

Время, потребное для заделки изъяна, легко подсчитать, если известна глубина повреждения. В описанном первом случае для заделки изъяна потребовалось 25 часов, при этом нарост меди получился несколько большим, чем это было нужно.

Когда установка была разобрана, излишек меди был удален посредством лицевой пилы с последующей шлифовкой коллектора стеклянной шкуркой № 00.

В течение всего процесса электролиза необходимо наблюдать за тем, чтобы в электролит не попадали посторонние предметы или примеси, наличие которых приведет к недостаточной плотности осаждаемого слоя меди.

Если в электролит все же попадут посторонние предметы, то необходимо приостановить процесс, отфильтровать электролит через бумажный фильтр или заменить его новым и только после этого продолжать работу.

На ход процесса может повлиять значительное изменение окружающей температуры. В первом случае работа производилась при температуре 15—17°C, во втором—при 5—10°C; никаких существенных отличий в ходе процесса электролиза замечено не было.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОПОМЕХ ОТ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЗМОВ

Инж. Д. Н. Шапиро

ВВЕДЕНИЕ

В статье „Индустриальные радиопомехи и борьба с ними“¹ было указано на то, что фильтрация мешающих электромеханизмов является хотя и несколько громоздким, но зато наиболее надежным в настоящее время средством борьбы с индустриальными радиопомехами. Поскольку роль фильтра сводится к уменьшению до допустимого предела мешающих напряжений, т. е. напряжений радиочастоты, существующих на выходе источника помех (электромеханизма), то основным параметром, характеризующим фильтр как защитное устройство, является отношение мешающих напряжений на выходе электромеханизма до и после установки фильтра. Это отношение носит название эффективности фильтра.

Спроектировать фильтр — это значит прежде всего по заданной эффективности фильтра выбрать схему его и определить величины входящих в эту схему емкостей и индуктивностей.

Основные соображения и расчеты, которыми мы пользуемся в настоящее время при проектировании фильтров по заданной эффективности или по заданной величине допустимого мешающего напряжения на выходе электромеханизма, и являются содержанием настоящей статьи. Необходимо отметить, что эти соображения и расчеты весьма примитивны; мы еще совершенно не умеем количественно учитывать влияние на эффективность фильтров таких важных факторов, как индуктивные связи между различными дросселями одного и того же фильтра, связи входных и выходных цепей фильтра, не говоря уже о влиянии различных паразитных емкостей и взаимных индуктивностей между проводами, которые, вообще, вряд ли поддаются учету. Поэтому практика подтверждает наши расчеты лишь в самом общем виде; доработка же схем и конструкций производится всегда опытным путем.

1. УПРОЩЕННАЯ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА ИСТОЧНИКА ПОМЕХ

С точки зрения помех радиоприему, мешающий электромеханизм можно рассматривать как сложный генератор колебаний радиочастоты. Каждый рвущийся контакт в сложном релейном механизме, каждая

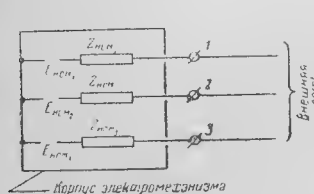
¹ См. „Приложение к Бюллетеню НТК НКВМФ“, 1940, № 1.

щетка (переходный контакт — щетка — коллектор) в коллекторной машине является самостоятельным элементарным источником высокочастотной э. д. с.

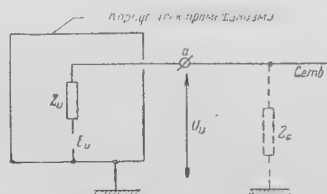
Высокочастотные э. д. с. различных источников находятся в самых произвольных фазах друг относительно друга. Благодаря наличию довольно больших, с точки зрения высоких частот, индуктивных и емкостных связей между всеми проводами внутри мешающего механизма, высокочастотные напряжения от различных элементарных источников накладываются в каждом из проводов друг на друга. В результате картина на выходе электромеханизма получается довольно сложная.

Не вникая в явления, происходящие внутри мешающего электро-механизма, можно в первом приближении считать, что:

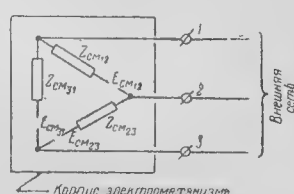
1. Между каждым из подходящих к электромеханизму проводов и корпусом электромеханизма приложена самостоятельная и не зави-



Фиг. 1а.



Фиг. 1б.



Фиг. 2.

сящая от всех прочих высокочастотная э. д. с., так называемая несимметричная мешающая э. д. с. ($E_{\text{НСМ}}$) последовательно с сопротивлением $Z_{\text{НСМ}}$, так называемым несимметричным внутренним сопротивлением электромеханизма (фиг. 1а).

2. Между каждой парой подходящих к электромеханизму проводов приложена самостоятельная и не зависящая от всех прочих высокочастотная э. д. с., так называемая симметричная мешающая э. д. с. ($E_{\text{СМ}}$) последовательно с сопротивлением $Z_{\text{СМ}}$, так называемым симметричным внутренним сопротивлением электромеханизма (фиг. 1б).

С точки зрения создания помех, наиболее опасными являются обычно несимметричные мешающие э. д. с., поэтому все наши дальнейшие рассуждения мы будем относить непосредственно к ним, хотя все выводы будут в равной мере справедливы и в отношении симметричных э. д. с. и сопротивлений. Кроме того, для простоты мы будем рассматривать только один из подходящих к мешающему электро-механизму проводов, полагая, что все выводы относятся в равной мере ко всем проводам. Наконец, мы будем считать, что корпус мешающего электромеханизма всегда заземлен.

После всего сказанного упрощенная эквивалентная схема мешающего электромеханизма принимает вид, изображенный на фиг. 2, где $Z_{\text{с}}$ — сопротивление внешней сети токам высокой частоты, $U_{\text{н}}$ — мешающее напряжение на выходе электромеханизма, т. е. напряжение радиочастоты между зажимом и корпусом электромеханизма или землей.

$$U_{\text{н}} = E_{\text{н}} \frac{Z_{\text{с}}}{Z_{\text{н}} + Z_{\text{с}}} \quad (1)$$

II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОСТОГО ЕМКОСТНОГО ФИЛЬТРА

Как известно, простой емкостный фильтр представляет собой конденсатор, включаемый между выходным зажимом и корпусом электро-механизма (фиг. 3).

При таком включении мешающее напряжение U_{ϕ} на выходе электро-механизма с фильтром становится равным

$$U_{\phi} = E_{\Pi} \frac{Z_{ab} \cdot Z_c}{Z_{\Pi}(Z_{ab} + Z_c) + Z_{ab}Z_c}, \quad (2)$$

где Z_{ab} — сопротивление конденсатора и подводящих к нему проводов.

Если наш емкостный фильтр должен уменьшить мешающее напряжение на выходе электро-механизма U_{Π} до допустимой величины $U_{н.доп.}$, то для расчета фильтра, очевидно, следует, подставив в формулу (2), вместо U_{ϕ} , величину $U_{н.доп.}$, найти необходимую для выполнения полученного равенства величину Z_{ab} . Это легко сделать по формуле (3), зная величины E_{Π} , Z_{Π} и Z_c :

$$Z_{ab} = \frac{U_{н.доп.} \cdot Z_{\Pi} Z_c}{E_{\Pi} Z_c - U_{н.доп.} (Z_{\Pi} + Z_c)}. \quad (3)$$

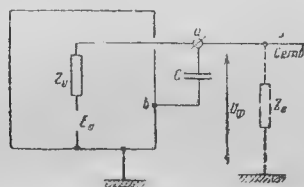
Величины E_{Π} , Z_{Π} и Z_c имеют различный и весьма сложный характер зависимости от частоты; поэтому зависимость величины Z_{ab} от частоты, полученная путем расчета по формуле (3), тоже будет весьма сложной и различной для различных случаев.

Закон изменения с частотой сопротивления конденсатора и подводящих к нему проводов вполне определенный и может быть написан в виде:

$$Z_{ab} = \omega(L_0 + L_{\Pi}) - \frac{1}{\omega C}. \quad (4)$$

В этом выражении C — емкость конденсатора, L_0 — индуктивность конденсатора, L_{Π} — индуктивность подводящих к конденсатору проводов.

Сопротивление это имеет минимальное значение при частоте последовательного резонанса



Фиг. 3.

$$F_{01} = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_0 + L_{\Pi}) \cdot C}} \quad (5)$$

и возрастает в обе стороны от этой частоты.

Для конденсаторов, применяемых в емкостных фильтрах, величина L_0 колеблется в пределах 30—60 см., величина C — в пределах 0,05—1 μF (конденсаторы меньших и больших емкостей в качестве емкостных фильтров применяются сравнительно редко). Погонная индуктивность соединительных проводов может быть грубо положена равной 10 см/см. На фиг. 4 даны графики зависимости Z_{ab} от частоты для трех значений $L_0 + L_{\Pi}$ и C .

Вероятность того, что закон изменения с частотой величины Z_{ab} , полученной путем расчета по формуле (3), совпадет с характером частотной зависимости (4) и кривыми фиг. 4, ничтожно мала. Равенство

$$Z_{ab \text{ расч.}} = \omega(L_0 + L_{\Pi}) - \frac{1}{\omega C}$$

может быть удовлетворено только при какой-либо одной частоте, с тем, чтобы на всех остальных частотах интересующего нас диапазона Z_{ab} отличалось от Z_{ab} расчетного в сторону, более выгодную с точки зрения защиты.

Обратимся теперь к вопросу практической возможности и ценности нашего расчета. Величина Z_c — сопротивление внешней сети — различна для различных практических случаев; математическому анализу она пока еще не поддается и может быть найдена только путем измерения. Измерительная аппаратура, которой мы располагаем, позволяет измерять Z_c только для частот ниже 1,5 МГц, не говоря уже о точности этих измерений. Такая неопределенность величины Z_c делает точный расчет Z_{ab} по формулам (3) и (4) невозможным. Правда, при чисто емкостной защите Z_c в пределах интересующего нас диапазона, как правило, в несколько раз больше величины Z_{ab} , поэтому в формуле (2) величиной Z_{ab} можно в первом приближении пренебречь. При этом мы получаем:

$$U_\Phi = E_\Pi \frac{Z_{ab}}{Z_\Pi + Z_{ab}}. \quad (6)$$

Но это не спасает положения. Величина Z_Π — внутреннее сопротивление источника помех — различна для различных типов машин. Как и величина Z_c , она не поддается пока математическому анализу и может быть найдена лишь путем измерения пока только для частот ниже 1,5 МГц. Величина Z_Π при проектировании фильтров для новых типов машин нам совершенно неизвестна. Величина E_Π также не может быть найдена расчетным путем. Экспериментальное определение величины E_Π затруднено тем, что при нормальной работе электромеханизма величина мешающего напряжения на выходе его U_Π , как это видно из формулы (1), отличается от величины E_Π . Можно было бы измерить E_Π при холостой работе электромеханизма, т. е. при отключенной внешней сети, однако это не всегда возможно: так электродвигатель, например, не может работать без подведения к нему питания. Кроме того, нельзя быть уверенным в том, что величина E_Π при нормальной работе и при холостом ходе остается неизменной; скорее даже следует полагать обратное.

Допуская известную степень неточности, можно положить $U_\Pi = E_\Pi$, предварительно искусственно повысив насколько возможно Z_c включением в подходящие к электромеханизму провода дросселей. Измерения показывают, что величина E_Π даже одного и того же электромеханизма сильно меняется во времени, превышая в 10 и более раз некоторое среднее значение. Эти колебания вызываются, повидимому, незаметными для невооруженного глаза изменениями поверхностей рвущихся контактов. Отношение величин E_Π различных механизмов одной и той же мощности может достигать 1:100 и более. На фиг. 5 показана область, в пределах которой колебалась величина U_Π различных машин, на которых производились измерения, как то: моторы ПН-5, ПН-10, ПН-28,5, агрегаты Ц-3, Б-4 и Д-13 и генератор РДС-750.

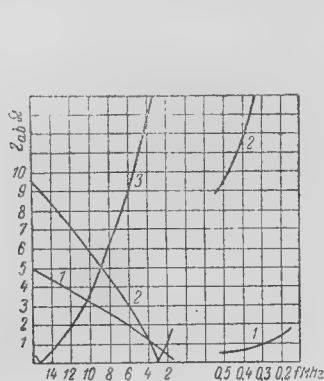
На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Расчет емкостного фильтра, т. е. определение параметров фильтра по заданной величине допустимого мешающего напряжения на выходе электромеханизма $U_{н. доп.}$, в настоящее время практически невозможен.

2. Вопрос о достаточности или недостаточности чисто емкостной защиты в том или ином случае может быть решен только экспериментально.

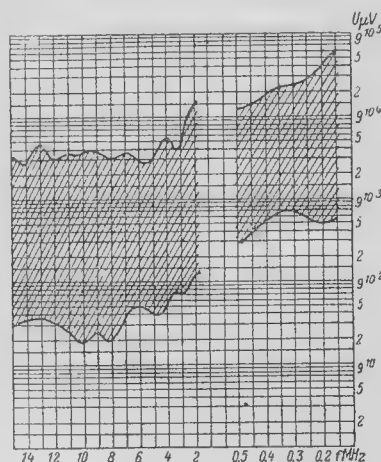
3. При проектировании фильтров для новых типов машин этот вопрос можно решить лишь ориентировочно, исходя из данных аналогичных, уже существующих типов машин.

Хотя расчет емкостного фильтра практически невозможен, тем не менее, на основании ряда принципиальных соображений и простейших



Фиг. 4.

C	$L_0 + L_{\Pi}$
1 — $0,05 \mu F$	50 см.
2 — $30\,000 \mu F$	100 см.
3 — $2000 \mu F$	50 см.



Фиг. 5. Область колебаний U_n у машин: ПН-5; ПН-10; ПН-28,5; Ц-3; Б-4; Д-13.

расчетов, хорошо подтверждаемых практикой, можно указать ряд путей, позволяющих максимально повысить качество защиты, даваемое емкостным фильтром.

Выражение (6) показывает, что мешающее напряжение U_{ϕ} на выходе электромеханизма с емкостным фильтром тем меньше, т. е. защита тем лучше, чем меньше величина Z_{ab} . Анализ выражения (4) и кривых фиг. 4 показывает, что для емкостей порядка $C = 0,05 - 1 \mu F$ и индуктивностей $L_0 + L_{\Pi} = 50 - 150$ см величина Z_{ab} в области низких частот (0,5 МГц и ниже), т. е. длинных волн ($\lambda = 600$ м и больше), определяется, главным образом, емкостью конденсатора. Если защита в этом диапазоне недостаточна, то она может быть улучшена увеличением емкости конденсатора. Предел увеличения емкости обусловлен габаритами конденсатора.

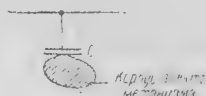
В тех случаях, когда требуется хорошая защита на длинных волнах, применение конденсатора емкостью меньше $0,05 \mu F$ в качестве емкостного фильтра, как правило, не дает удовлетворительных результатов.

В области высоких частот (6 МГц и выше), т. е. коротких волн (50 м и меньше), величина Z_{ab} определяется в основном индуктивностью конденсатора и подводящих к нему проводов $L_0 + L_{\Pi}$. Повышение эффективности фильтра в этом диапазоне может быть достигнуто уменьшением этой индуктивности. Уменьшение индуктивности достигается, как известно, уменьшением длины подводящих к конденсатору проводников, например, монтажом по схеме, представленной

на фиг. 6а, или применением специальных, так называемых „проходных“ конденсаторов.¹ При применении „проходного“ конденсатора индуктивность L_{Π} исключается вовсе, а индуктивность L_0 уменьшается до 25—35 см. Дальнейшее уменьшение L_0 практически сильно затруднено. „Проходные“ конденсаторы могут быть по конструктивным соображениям использованы в качестве „проходных“ только при силах тока не свыше 20—25 А. При более сильных токах, во избежание чрезмерного нагрева скобки-вывода, они используются уже не как проходные, и индуктивность их может быть оценена величиной $L_0 = 50—60$ см.



Фиг. 6а.



Фиг. 6б.

В случае большой силы тока выполнить монтаж по схеме фиг. 6а иногда бывает трудно и приходится выполнять его по схеме фиг. 6б. По этой же схеме приходится выполнять монтаж при включении последовательно с конденсатором предохранителя, который не дает электромеханизму выйти из строя в случае пробоя конденсатора.

Надо отдавать себе ясный отчет, насколько увеличение длины проводящих к конденсатору проводов ухудшает защиту на коротких волнах. Если грубо считать индуктивность конденсатора равной 50 см, а погонную индуктивность провода, как уже указывалось выше, равной 10 см/см, то провод длиной в 5 см ухудшает защиту вдвое, провод длиной в 10 см — втрое, а провод длиной в 2—3 см — на 40—60%, т. е. незначительно.

Если желательно максимально подавить помеху на какой-либо частоте F , то выгодно совмещать с этой частотой частоту последовательного резонанса конденсатора F_{01} (см. выражение (5)). Однако это не всегда совместимо с одновременным требованием хорошей защиты на длинных и коротких волнах.

Пусть, например, желательно максимально подавить помеху на частоте 10 МГц. Для получения одновременно хорошей защиты на более коротких волнах выполним монтаж по схеме, представленной на фиг. 6а. ($L_{\Pi} = 0$). Положим $L_0 = 50$ см; тогда из выражения (5) трудно найти, что емкость конденсатора C должна быть равна 4500 см. Такая малая емкость не обеспечит хорошей защиты на длинных волнах. Поэтому усиленную защиту на частоте 10 МГц при одновременной достаточной защите на длинных волнах помощью простого емкостного фильтра получить нельзя.

Если необходимо подавить помеху в пределах сравнительно узкого диапазона частот, например, диапазона, для которого $F_{\max}/F_{\min} = 2/1 \div 3/1$, где $F_{\max}$ — наибольшая, а $F_{\min}$ — наименьшая частоты диапазона, то выгодно, по возможности уменьшив L_{Π} и L_0 , найти величину C с таким расчетом, чтобы частота последовательного резонанса конденсаторов равнялась среднему геометрическому из крайних частот диапазона.²

$$F_0 = \sqrt{F_{\max} \cdot F_{\min}} \quad (7)$$

¹ См. Д. Н. Шапиро, Индустриальные радиопомехи и борьба с ними. Приложение к Бюллетеню НТК*, № 1, 1940.

² См. статью инженера Фоменко, „ИЭСТ“, № 12, 1938 г.

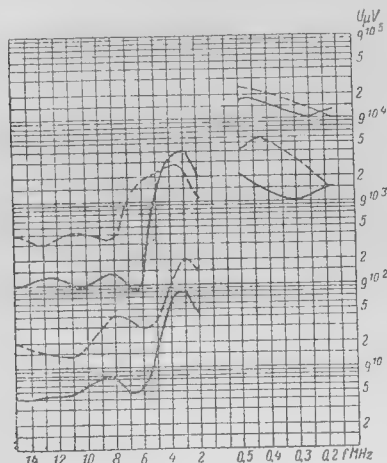
При защите коллекторных машин введение в провода, идущие от щеток, последовательных обмоток (серийных или обмоток дополнительных полюсов) увеличивает величину Z_{Σ} и улучшает качество емкостной защиты. Это хорошо иллюстрируется фигурами 7, 8 и 9.

На фиг. 7 показаны области колебаний несимметричных мешающих напряжений на выходе мотора ПН-5 при холостом ходе и отсутствии защиты:

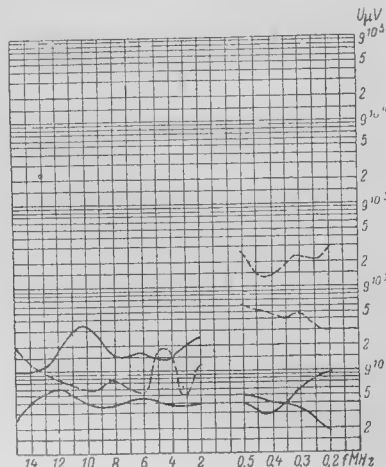
а) на зажимах, идущих непосредственно от щеток (пунктирные кривые), и

б) на зажимах после последовательных обмоток (сплошные кривые).

Как видим, даже без какой-либо дополнительной защиты, последовательные обмотки снижают мешающее напряжение в 2÷3 раза.



Фиг. 7. Области колебаний U_n у ПН-5 на щетках и после, последовательных обмоток.



Фиг. 8. Области колебаний U_n у ПН-5 с защитой $C=0,05 \mu F$.

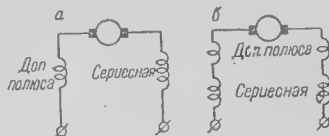
На фиг. 8 приведены области колебаний тех же напряжений при использовании в качестве емкостного фильтра конденсатора $C=0,05 \mu F$. В этом случае последовательные обмотки улучшают защиту на низких частотах (длинных волнах) в 5÷10 раз.

На фиг. 9 показаны кривые несимметричного мешающего напряжения на зажиме „+сушка“ машины Д-13 (кривая 1), на зажиме +Я той же машины (кривая 2) и на зажиме +Я при емкостном фильтре $C=0,25 \mu F$ (кривая 3). К зажиму „+сушка“ провод проходит непосредственно от щеток, а к зажиму +Я — через последовательные обмотки (через половину серийных обмоток и половину обмоток дополнительных полюсов). Как видим, влияние последовательных обмоток на величину помехи у высоковольтной машины еще больше, чем у низковольтной.

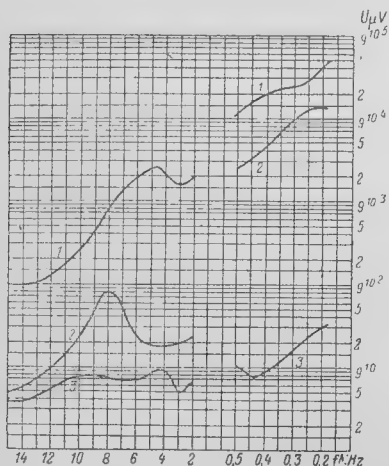
Изложенное приводит к выводу, что всюду, где это конструктивно возможно, следует включать между щеткой и выходом машины последовательные обмотки по схеме, представленной на фиг. 10а или 10б.

Чтобы завершить рассмотрение простого емкостного фильтра, рассмотрим область изменения несимметричных мешающих напряжений на выходных зажимах машин ПН-5, ПН-10, ПН-28,5, Б-4, Ц-3 и Д-13 при емкостной защите (фиг. 11). Сравнивая фиг. 11 и 5, видим, что

в среднем простой емкостный фильтр уменьшает мешающее напряжение в 10 раз. В некоторых случаях при помощи простого емкостного фильтра удается получить ослабление мешающих напряжений в несколько тысяч раз, в некоторых же случаях, благодаря малой величине внутреннего сопротивления источника помех ($Z_{\text{и}}$), емкостный фильтр не дает почти никакой защиты.

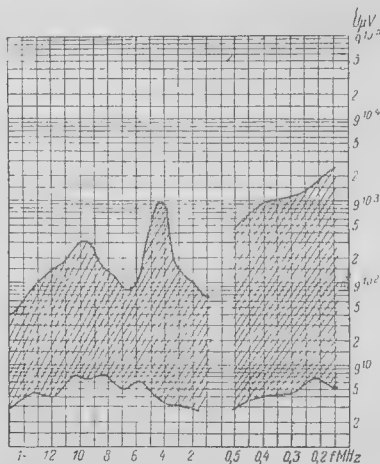


Фиг. 10.



Фиг. 9. Значения $U_{\text{и}}$ у машины Д-13:

1 — на + „сушка“; 2 — на + J_1 ;
3 — на + J_1 с защитой $C = 0,25 \mu\text{F}$.



Фиг. 11. Область колебаний $U_{\text{и}}$ у машин ПН-5; ПН-10; ПН-28,5; Б-4; Ц-3; Д-13 при емкостной защите.

III. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЕМКОСТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Выше мы показали, что совмещение частоты последовательного резонанса простого емкостного фильтра с частотой, на которой желательно получить наибольшее ослабление помех, не всегда возможно без ущерба для эффективности защиты на длинных волнах. Сохранить высокую эффективность защиты на длинных волнах и, вместе с тем, создать минимум величины Z_{ab} на интересующей нас частоте, можно, как правило, только помощью комбинации двух конденсаторов, соединенных параллельно, из которых один имеет большую емкость и обеспечивает защиту в области длинных волн, а другой имеет последовательный резонанс на интересующей нас частоте максимального подавления помехи. Такую систему двух конденсаторов мы называем сложным емкостным фильтром (фиг. 12).

Эквивалентная схема этого фильтра изображена на фиг. 13.

Зависимость Z_{ab} от частоты имеет при этом следующий вид:

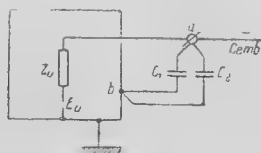
$$Z_{ab} = \frac{\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right) \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right)}{\omega (L_1 + L_2) - \frac{C_1 + C_2}{\omega C_1 C_2}}. \quad (8)$$

Рассматривая это выражение, мы видим, что система наша имеет три резонансных точки:

1. Один резонанс имеет место при частоте последовательного резонанса первого конденсатора F'_{01} ; при этом $\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} = 0$ и $Z_{ab} = 0$.

2. Другой резонанс имеет место при частоте последовательного резонанса второго конденсатора F''_{01} ; причем $\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} = 0$ и опять $Z_{ab} = 0$.

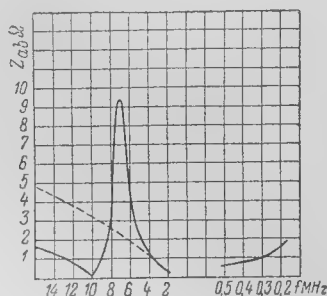
3. Третий резонанс—параллельный резонанс всей системы—наступает при частоте F_{02} , средней между частотами первых двух резонансов, $F'_{01} < F_{02} < F''_{01}$; при этом $\omega(L_1 + L_2) - \frac{C_1 + C_2}{\omega C_1 C_2} = 0$ и $Z_{ab} = \infty$.



Фиг. 12.



Фиг. 13. $L_1 = L_{01} + L_{п1}$
 $L_2 = L_{02} + L_{п2}$



Фиг. 14.

На этой частоте защита оказывается ухудшенной по сравнению с защитой простым емкостным фильтром.

Практически, благодаря наличию активных сопротивлений, Z_{ab} не бывает, конечно, равно ни нулю, ни бесконечности. При последовательном резонансе Z_{ab} равно активному сопротивлению конденсатора и подводящих к нему проводов; при параллельном же резонансе, в случае приблизительного равенства индуктивностей обоих конденсаторов ($L_1 \approx L_2$) и при условии, что $C_1 \gg C_2$ (это условие практически всегда соблюдается), можно грубо считать, что

$$Z_{ab} = \frac{4}{\omega C},^1$$

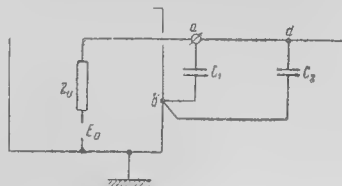
т. е. сопротивление системы двух конденсаторов равно учетверенному емкостному сопротивлению меньшего из конденсаторов при данной частоте.

На фиг. 14 дана полученная расчетным путем кривая зависимости Z_{ab} от частоты для сложного емкостного фильтра со следующими параметрами: $C_1 = 0,5 \mu F$, $L_{01} = L_{02} = 50 \text{ см}$, $C_2 = 4500 \text{ см}$ (сплошная линия). Этот фильтр обеспечивает максимальное подавление мешающего напряжения на частоте 10 MHz. Защита на частоте 4 MHz при этом в несколько раз ухудшена по сравнению с простым емкостным фильтром (пунктирная кривая).

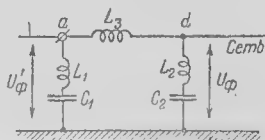
¹ Мы полагаем логарифмический декремент затухания системы равным $\delta = 250\%$.

Сложный емкостный фильтр по схеме фиг. 12 может быть с успехом применен при защите в широком диапазоне частот, охватывающем УКВ и длинные волны. В этом случае конденсатор C_2 должен быть рассчитан для защиты в УКВ диапазоне.

На фиг. 15 показана еще одна схема сложного емкостного фильтра. В этой схеме конденсаторы C_1 и C_2 подключаются к фильтруемому проводу не в одной точке, а на некотором расстоянии друг от друга; в случае достаточно больших емкостей обоих конденсаторов ($0,05 \div 1 \mu F$), таким путем удастся улучшить защиту по всему КВ диапазону в $3 \div 4$ раза.



Фиг. 15.



Фиг. 16.

Причину этого нетрудно понять из рассмотрения эквивалентной схемы фильтра, представленной на фиг. 16, где L_{ad} — индуктивность участка ad , т. е. участка фильтруемого провода, лежащего между точками подключения обоих конденсаторов.

Если емкости C_1 и C_2 велики, то на коротких волнах (высоких частотах) их сопротивлением можно пренебречь.

Если, кроме того, $L_2 + L_3$ в несколько раз больше L_1 , то сопротивление участка ab можно считать в области коротких волн равным $Z_{ab} \approx \omega L_1$, т. е. таким же, как и при простом емкостном фильтре. Мешающее напряжение между зажимом a и землей $U'_ф$ тоже будет приблизительно таким же, как и при простом емкостном фильтре. Напряжение $U_ф$ между точкой d и землей, т. е. мешающее напряжение на выходе электромеханизма с фильтром, будет равно:

$$U_ф = U'_ф \frac{L_2}{L_2 + L_3}.$$

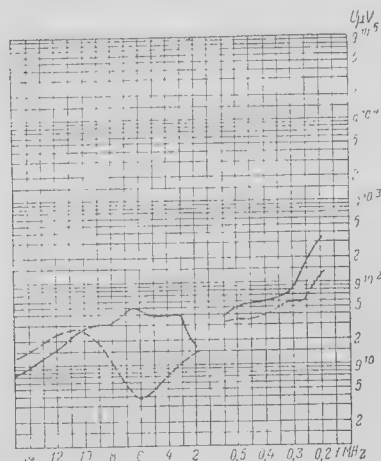
Если $L_3 = (2 \div 3) L_2$ (длина участка ad равна $10 \div 15$ см), то:

$$U_ф = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{4} \right) U'_ф.$$

Мы не будем приводить никаких формул для расчета этой схемы, так как из-за невозможности учесть различные паразитные емкости и взаимные индуктивности все наши расчеты все равно не имели бы никакой практической ценности. Необходимо только отметить, что схема фиг. 15, как и схема фиг. 12, при некоторой частоте (частоте параллельного резонанса) ухудшает защиту по сравнению с простым емкостным фильтром. В диапазоне длинных волн схема, приведенная на фиг. 15, ведет себя, как простой емкостный фильтр с емкостью конденсатора $C = C_1 + C_2$.

На фиг. 17 приведены для сравнения кривые мешающего напряжения на зажиме $+A_{II}$ машины Ц-6 в случае защиты простым емкостным фильтром $C = 0,5 \mu F$ (сплошные кривые) и сложным емкостным филь-

тром из двух конденсаторов $C=0,5 \mu F$, включенных в провод на расстоянии 15 см друг от друга (пунктирные кривые).



Фиг. 17. Кривые U_n на борне + Y_n Ц-6 с простым емкостным фильтром — с сложным

В зависимости от обстоятельств могут оказаться полезными какие-либо более сложные комбинации емкостей, чем две, рассмотренные выше. По аналогии с приведенными выше соображениями о работе этих двух комбинаций можно в каждом частном случае принципиально решить вопрос о целесообразности той или иной схемы сложного емкостного фильтра; однако окончательно вопрос может быть решен только экспериментально.

Ориентировочно можно считать, что применение сложных емкостных фильтров позволяет улучшить защиту на некоторых частотах или сравнительно узких участках диапазона частот в 2–5 раз по сравнению с защитой простого емкостного фильтра.

Для получения еще лучшей защиты необходимо переходить к фильтрам индуктивно-емкостным.

IV. РАСЧЕТ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫХ ФИЛЬТРОВ

А. Г-образный фильтр

Применение Г-образного фильтра (фиг. 18) имеет смысл лишь в том случае, когда сопротивление дросселя Z_L много больше внутреннего сопротивления источника помех Z_n ; в противном случае, включение дросселя не дает почти никакого выигрыша в эффективности защиты по сравнению с емкостным фильтром. Поэтому для Г-образного фильтра можно положить $Z_n=0$. В этом случае мешающее напряжение на выходе фильтра равно:

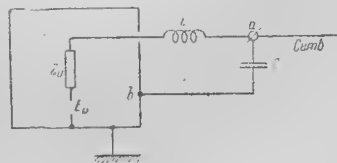
$$U_{\phi} \cong E_n \frac{Z_{ab}}{Z_L + Z_{ab}}. \quad (9)$$

Отношение мешающего напряжения на выходе источника помех без фильтра $U_n \cong E_n$ к напряжению на выходе источника помех с фильтром U_{ϕ} , т. е. эффективность фильтра $\mathcal{A}$, равна:

$$\mathcal{A} = \frac{Z_L + Z_{ab}}{Z_{ab}}. \quad (10)$$

Если эффективность фильтра велика (а только такой случай и представляет практический интерес), то $Z_L \gg Z_{ab}$, и можно полагать, что

$$\mathcal{A} = \frac{Z_L}{Z_{ab}}.$$



Фиг. 18.

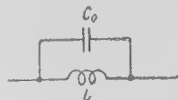
Тот факт, что эффективность Г-образного фильтра в первом приближении не зависит от величины внутреннего сопротивления источника помех $Z_{\text{и}}$ (в отличие от эффективности емкостного фильтра), позволяет производить расчет параметров этого фильтра. Правда, расчет этот далеко не точен, особенно в случае применения малых емкостей ($C < 0,05 \mu\text{F}$), когда сопротивление конденсатора на длинных волнах становится соизмеримым с сопротивлением сети Z_c и появляется возможность различных резонансных явлений; но все же этот расчет позволяет правильно выбрать порядок величин L и C .

На фиг. 19 дана эквивалентная схема дросселя с учетом его собственной емкости C_0 . Зависимость сопротивления дросселя от частоты имеет следующий вид:

$$Z_L = \frac{L}{C_0 \left(\omega L - \frac{1}{\omega C_0} \right)}. \quad (11)$$

Так как

$$Z_{ab} = \omega L_0 - \frac{1}{\omega C},$$



Фиг. 19.

то эффективность фильтра $\mathcal{E}$ зависит от частоты и параметров фильтра следующим образом:

$$\mathcal{E} = \frac{L}{C_0 \left(\omega L - \frac{1}{\omega C_0} \right) \left(\omega L_0 - \frac{1}{\omega C} \right)}. \quad (12)$$

Рассматривая это выражение, мы видим, что в двух точках диапазона величина $\mathcal{E}$ обращается в бесконечность.

Первый раз это происходит при $\omega L_0 - \frac{1}{\omega C} = 0$, т. е. при частоте последовательного резонанса конденсатора F_{01} , а второй раз — при

$$\omega L - \frac{1}{\omega C_0} = 0,$$

т. е. при частоте параллельного резонанса дросселя F_{02} . Практически, ввиду наличия активных сопротивлений, эффективность фильтра не обращается в бесконечность, но значения ее на частотах F_{01} и F_{02} очень велики. Величины резонансных частот F_{01} и F_{02} зависят от соотношения величин L , L_0 , C и C_0 . Для частот более высоких, чем высшая резонансная частота, и частот более низких, чем низшая резонансная частота, эффективность фильтра падает, стремясь в пределе ($F=0$ и $F=\infty$) к нулю.

На частотах более высоких, чем высшая резонансная частота, эффективность фильтра определяется, главным образом, собственной емкостью дросселя и индуктивностью конденсатора и подводящих к нему проводов:

$$\mathcal{E} \approx \frac{1}{\omega C_0 (L_0 + L_{\text{п}})}. \quad (13)$$

Эффективность фильтра здесь тем больше, чем меньше C_0 и $L_0 + L_{\text{п}}$.

На частотах более низких, чем низшая резонансная частота, эффективность фильтра определяется, главным образом, индуктивностью дросселя и емкостью конденсатора:

$$\mathcal{E} \approx \omega^2 LC. \quad (14)$$

Так как $LC = \frac{1}{\omega_0^2}$, где ω_0 —частота последовательного резонанса всего фильтра, то

$$\mathcal{D} \approx \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^2,$$

где λ_0 —собственная длина волны всего фильтра.

Для получения достаточной эффективности защиты на самой длинной волне $\lambda_{\max}$ необходимо, чтобы собственная волна фильтра была много больше, чем $\lambda_{\max}$.

Если максимальные значения $\mathcal{D}$ лежат внутри подлежащего защите диапазона волн и эффективность фильтра на самой короткой и самой длинной волнах диапазона достаточна, то она обычно бывает достаточной по всему диапазону.

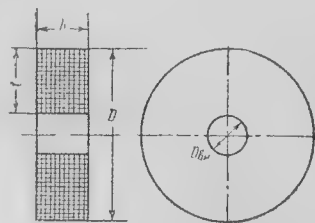
При фильтрации корабельной электроаппаратуры необходимо бывает подавить мешающие напряжения в очень широком диапазоне волн: 15—10 000 м. Тщательное подавление требуется в диапазоне 15—2 000 м. При этом обе резонансные частоты F_{01} и F_{02} лежат, как правило, внутри подлежащего защите диапазона.

Поэтому на волне $\lambda_{\max} = 2000$ м

$$\mathcal{D} = \frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}},$$

а на волне $\lambda_{\min} = 15$ м

$$\mathcal{D} = \frac{1}{\omega_{\max}^2 C_0 (L_0 + L_{\Pi})}.$$



Фиг. 20.

Для улучшения защиты в области коротких волн необходимо по возможности уменьшать индуктивность конденсатора и подводящих к нему проводов и собственную емкость дросселя.

Величина собственной емкости дросселя зависит от характера намотки. Наибольшей собственной емкостью обладают двухслойные цилиндрические дроссели, так как у них первые и последние витки находятся наиболее близко друг к другу. Наименьшей собственной емкостью обладают однослойные цилиндрические дроссели. В фильтрах обычно применяются многослойные цилиндрические дроссели с отношением длины дросселя к толщине намотки (b/t , фиг. 20), меньшим единицы. Если по конструктивным соображениям удобнее, чтобы величина b/t была много больше единицы, то дроссель делается секционированным. Практически собственная емкость применяемых в фильтрах дросселей колеблется в пределах 10÷30 см.

Выбор величин L и C производится, исходя из необходимой эффективности защиты на самой длинной волне подлежащего защите диапазона $\lambda_{\max}$.

$$\mathcal{D} = \frac{U_{\Pi}}{U_{\Pi, \text{доп.}}}$$

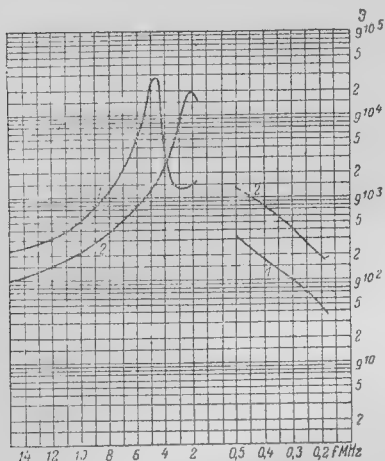
Мешающее напряжение U_{Π} на выходе электромеханизма без фильтра находится путем измерения, причем из нескольких полученных для данной волны значений U_{Π} берется наибольшее. При проектировании новых машин за величину U_{Π} принимается верхняя граница области колебаний U_{Π} у аналогичных старых машин.

По величине $\mathcal{E}$ находится собственная волна фильтра λ_0 ,

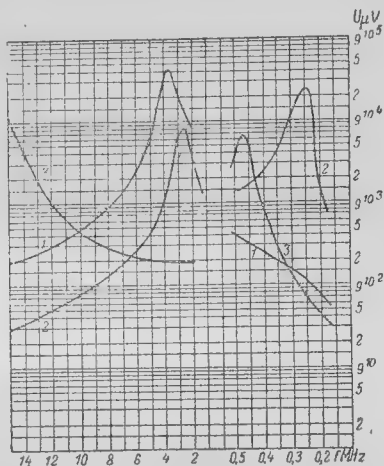
$$\lambda_0 = \lambda_{\max} \sqrt{\mathcal{E}}. \quad (15)$$

Так как на частоте последовательного резонанса фильтра можно не только не получить ослабления, а наоборот, можно получить даже некоторое усиление помехи, то желательно, чтобы собственная волна фильтра была не меньше 10 000 м. Поэтому, если λ_0 , полученное из выражения (15), оказывается меньше 10 000 м, то обычно принимается:

$$\lambda_0 = 10\,000 \text{ м.}$$



Фиг. 21. 1. $L = 50 \mu\text{H}$, $C_0 = 10 \text{ см}$,
 $C = 0,5 \mu\text{F}$, $L_0 = 50 \text{ см}$
 2. $L = 200 \mu\text{H}$, $C_0 = 20 \text{ см}$,
 $C = 0,5 \mu\text{F}$, $L_0 = 50 \text{ см}$



Фиг. 22. 1. $L = 10 \text{ мН}$, $C_0 = 10 \text{ см}$,
 $C = 2000 \mu\text{F}$, $L_0 = 50 \text{ см}$
 2. $L = 10 \text{ мН}$, $C_0 = 30 \text{ см}$,
 $C = 30\,000 \mu\text{F}$, $L_0 = 100 \text{ см}$
 3. $L = 1 \text{ мН}$, $C_0 = 10 \text{ см}$,
 $C = 30\,000 \mu\text{F}$, $L_0 = 50 \text{ см}$

Следующим этапом проектирования Г-образного фильтра является выбор величины C на основании соображений конструктивного порядка и электрической прочности. При фильтрации цепи с большой силой тока (больше 1 А) и напряжением не выше 220 В выгоднее брать большие емкости, порядка 0,5–1 μF , с тем, чтобы максимально уменьшить габариты дросселя. При этом частота последовательного резонанса конденсатора F_{01} оказывается почти всегда меньше частоты параллельного резонанса дросселя F_{02} . Типичные кривые зависимости $\mathcal{E}$ от частоты для таких случаев даны на фиг. 21.

При фильтрации цепи с малой силой тока (меньше 1 А) и напряжением не выше 220 В выгоднее с точки зрения габаритов брать $C = 0,05 \div 0,1 \mu\text{F}$, так как дроссели для малых сил токов получаются очень небольшими по габаритам.

При фильтрации цепи с напряжением 1000 В и выше конденсатор приходится выбирать, исходя из соображений электрической прочности. Емкости конденсаторов, которыми мы в настоящее время располагаем для таких напряжений (тип Г завода 210), колеблются от 2000 μF для 5000 В до 30 000 μF для 1000 В. При таких емкостях частота последовательного резонанса конденсатора оказывается выше частоты параллельного резонанса дросселя. Типичные кривые зависимости $\mathcal{E}$ от частоты для таких случаев даны на фиг. 22.

Между прочим, обращает на себя внимание тот факт, что у кривой Э первый максимум имеет место при частоте $F=15\text{MHz}$ ($\lambda=20\text{ м}$), почти наивысшей из частот интересующего нас диапазона. Это не совсем выгодно с точки зрения эффективности защиты на всем диапазоне коротких волн. Качество защиты на коротких волнах можно было бы в этом случае, в среднем, несколько повысить, сместив максимум Э в область более низких частот, например, на частоту 10MHz . Для этого достаточно увеличить индуктивность конденсатора примерно вдвое (произвести подключение конденсатора проводом длиной в $5\div 7\text{ см.}$).

Когда величина C выбрана, находим величину L по формуле:

$$L = \frac{281 \lambda_0^2}{C}, \quad (16)$$

где λ_0 — в метрах, C — в микрофарадах, L — в сантиметрах.

Далее по формуле (13) проверяем, достаточна ли эффективность фильтра на самой короткой волне $\lambda_{\min}$. Так как величина C_0 при проектировании точно неизвестна, то можно в среднем считать $C_0 = 20\text{ см.}$, а $L_{\Pi} + L_0 = 50\text{ см.}$; тогда для волны $\lambda = 20\text{ м}$

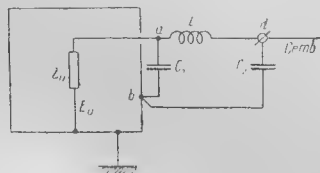
$$\mathcal{E} \approx 100.$$

Если эта эффективность достаточна, то на этом электрический расчет Г-образного фильтра кончается. Если эта эффективность недостаточна или если величина L по расчету получается слишком большой и неудобной в смысле конструктивного оформления, то следует перейти к П-образному фильтру или двухъячейковому Г-образному фильтру.

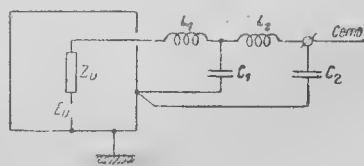
Б. П-образный и двухъячейковый Г-образный фильтры

Применение П-образного фильтра (фиг. 23) имеет смысл в следующих двух случаях:

- 1) когда эффективность Г-образного фильтра недостаточна;



Фиг. 23.



Фиг. 24.

- 2) когда эффективность Г-образного фильтра получается достаточной, но добавление второго конденсатора не связано со сколь угодно значительным увеличением габаритов фильтра, и поэтому его стоит поставить для большей надежности.

П-образный фильтр можно рассматривать, как емкостный и Г-образный фильтры, включенные последовательно. Поэтому в отношении конденсатора C_1 справедливы все соображения, высказанные ранее относительно емкостного фильтра; в отношении же дросселя и конденсатора C_2 справедливы все соображения, относящиеся к Г-образному фильтру. Выбор величин L и C_2 происходит так же, как и для

Г-образного фильтра, с той лишь разницей, что необходимая эффективность фильтра равна

$$\mathcal{E} = \frac{U'_\phi}{U_{\text{н. доп.}}}, \quad (17)$$

где U'_ϕ — мешающее напряжение на выходе электромеханизма, защищенного конденсатором C_1 . В случае, если конденсатор C_1 добавляется к Г-образному фильтру для большей надежности защиты, пересчет L не производится, а C_1 берется обычно равным C_2 .

Двухъячейковый Г-образный фильтр (фиг. 24) применяется в тех случаях, когда эффективность Г-образного фильтра много меньше необходимой. Как правило $L_1 = L_2$ и $C_1 = C_2$. Выбор величин L и C происходит так же, как и для Г-образного фильтра, с той лишь разницей, что

$$\lambda_0 = \lambda_{\text{max}} \sqrt[4]{\mathcal{E}}, \quad (18)$$

где λ_0 — собственная волна одной ячейки фильтра.

V. ВЫБОР СХЕМЫ ФИЛЬТРА

Поскольку основные соображения и расчеты, которыми мы пользуемся при проектировании емкостных и индуктивно-емкостных фильтров, изложены, то остается вкратце указать, как производится выбор схемы фильтра. Как указано в главе II, мы считаем, что эффективность емкостного фильтра в среднем равна 10. Практика показывает, что при помощи одноячейкового Г-образного фильтра можно подавить помеху ориентировочно в 10—100 раз, а при помощи П-образного и двухъячейкового Г-образного фильтров — соответственно в 100—1000 и 1000—10 000 раз. Цифры эти являются лишь очень грубо ориентировочными, но, тем не менее, они позволяют довольно правильно проинформировать выбор схемы фильтра.

Если необходимо получить ослабление мешающих напряжений в 50—60 раз, то прибегают к одноячейковому Г-образному фильтру; для получения ослабления в 2000—3000 раз пользуются в большинстве случаев двухъячейковым Г-образным фильтром; наконец, при небольших ослаблениях (в 6—7 раз) обычно ограничиваются одним емкостным фильтром, редко применяя в таких случаях индуктивно-емкостные фильтры.

После того, как схема выбрана и сделан расчет величин L и C , производится конструктивный расчет дросселей и строится макет фильтра. Как схема фильтра и входящие в нее величины емкостей и индуктивностей, так и конструкция фильтра окончательно уточняются и дорабатываются в процессе испытания макета.

VI. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ДРОССЕЛЯ

A. Выбор сечения провода

При выборе сечения провода дросселя приходится иметь в виду следующие два требования:

1. Дроссель не должен нагреваться выше допустимого предела.

2. Падение напряжения на дросселе при номинальной силе тока не должно превышать величины, допустимой по техническим условиям.

В большинстве случаев решающим является первое требование; второе же удовлетворяется автоматически. Все же каждый раз необходимо производить проверочный расчет падения напряжения на дросселе и, если оно превышает допустимую величину, увеличить сечение провода. При этом нагрев дросселя становится много меньше допустимого.

Конденсаторы, применяемые в настоящее время в фильтрах (тип ЗКС, тип Г завода 210 и тип БК и БИК завода 203) рассчитаны на рабочую температуру не выше $+60^{\circ}\text{C}$; поэтому мы можем грубо считать, что и температура дросселей не должна подниматься выше $+60^{\circ}\text{C}$.

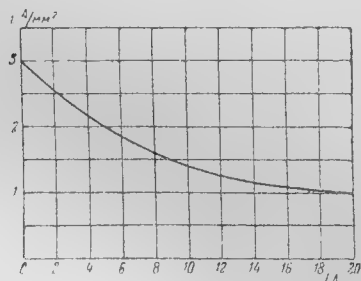
Температура окружающей среды на корабле принимается равной $+40^{\circ}\text{C}$, поэтому превышение температуры дросселя над температурой окружающей среды не должно быть больше $15 \div 20^{\circ}\text{C}$.

Превышение температуры дросселя над температурой окружающей среды сильно зависит от условий охлаждения и практически не поддается расчету. Для фильтра без вентиляции мы рекомендуем выбирать сечение провода дросселя, исходя из приводимой ниже кривой зависимости допустимой плотности тока i от силы тока I (фиг. 25). Эта кривая получена нами экспериментально для случая непровитанного дросселя. При применении пропитанных бакелитовым лаком или компаундированных дросселей условия теплоотдачи улучшаются и плотности тока в дросселях могут быть повышены.

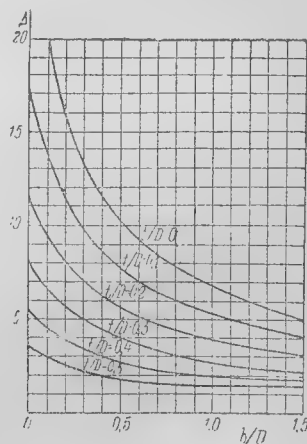
Б. Расчет индуктивности дросселя

Индуктивность многослойного цилиндрического дросселя находится по формуле:

$$L = AN^2D,$$



Фиг. 25.



Фиг. 26.

где D — внешний диаметр дросселя в см,
 N — число витков дросселя,
 L — индуктивность в см,

A — коэффициент, зависящий от отношения $\frac{b}{D}$ и $\frac{t}{D}$ (фиг. 20). Величина его может быть найдена по кривой фиг. 26.

Порядок расчета при заданной величине L

1. Задаемся величинами D , t и b .
2. Находим по кривым величину A .
3. Находим необходимое число витков

$$N = \sqrt{\frac{L}{D \cdot A}}. \quad (19)$$

4. Зная внешний диаметр провода d и полагая, что число слоев катушки $m = \frac{t}{d}$, а число витков в слое $n = \frac{b \cdot 0,9}{d}$, проверяем, поместится ли необходимое число витков N в заданных габаритах по формуле:

$$D_1 = d \sqrt{\frac{N}{0,9 t / D \cdot b / D}}.$$

5. Если D_1 не равно исходной величине D , то находим новое число витков

$$N_1 = \sqrt{\frac{L}{A D_1}}.$$

6. Проверяем, поместится ли число витков N_1 при диаметре D_1 :

$$D_2 = d \sqrt{\frac{N_1}{0,9 t / D \cdot b / D}}.$$

7. Если D_2 не равно D_1 , то ищем N_2 по формуле

$$N_2 = \sqrt{\frac{L}{A D_2}}$$

и т. д. до тех пор, пока величина D_n не будет совпадать с D_{n-1} с точностью до $3 \div 5\%$; тогда берем

$$N \approx N_{n-1} \text{ и } D \approx D_n.$$

Если первые же расчеты показывают, что размеры дросселя получаются неприемлемыми, то задаемся другими соотношениями D , t и b и считаем заново.

Проверка величины падения напряжения на дросселе ΔU . Сопротивление многослойного дросселя из медного провода может быть найдено по формуле:

$$R = 0,7 \cdot 10^{-4} \frac{N D_{\text{ср}}}{\phi^2}, \quad (20)$$

где $D_{\text{ср}}$ — средний диаметр дросселя в мм; $D_{\text{ср}} = D - t$,
 ϕ — диаметр провода в мм.

Если R известно, то $\Delta U = R \cdot I$.

VII. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФИЛЬТРА—ПРОЕКТ ФИЛЬТРА К АГРЕГАТУ Б-5

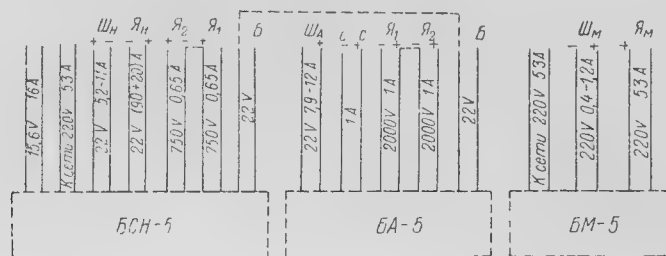
В заключение мы приводим ниже в качестве примера проект фильтра к вновь строящемуся агрегату Б-5, предназначенному для питания радиопередатчиков.

Так как самого агрегата во время проектирования еще не существовало, то в основу проекта были положены данные проведенных в НИМИСТ и ИРПА исследований фильтров к агрегатам Б-4, Ц-3, Д-13 и Ц-6, близко подходящих по типу к агрегату Б-5.

Длина волны в метрах	Мешающее напряжение в микровольтах
20— 120	25
120— 600	50
600—1400	100
1400	150

Для машин, питающих радио-передатчики, мы считаем в настоящее время допустимыми следующие величины несимметричных мешающих напряжений на выходе.

Напряжения и токи на выходе агрегата Б-5 указаны на схеме фиг. 27.



Фиг. 27.

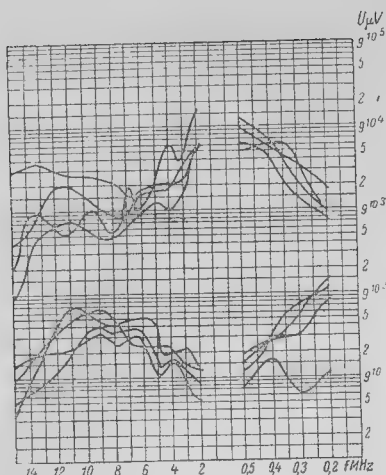
1. Цепи мотора

На фиг. 28 приведены кривые мешающего напряжения на зажимах $+Y_M$ агрегатов БА-4, БН-4, ЦА-3 и ЦН-3 без защиты (верхняя группа кривых) и с защитой емкостным фильтром $C=1\mu F$ (нижняя группа кривых).

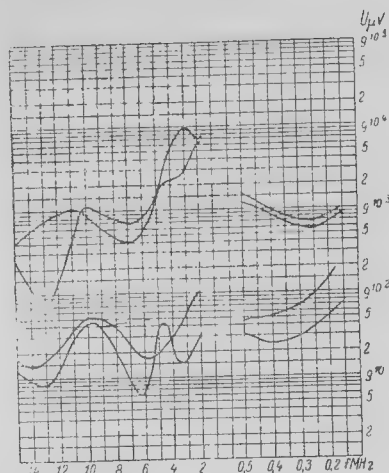
На фиг. 29 показаны кривые мешающего напряжения на зажимах $+Y_M$ и $-Ш_M$ агрегата Ц-6 без защиты (верхние кривые) и с защитой емкостным фильтром $C=0,5\mu F$ (нижние кривые).

Из фиг. 28 и 29 следует, что для длинных волн защита емкостным фильтром $C=1\mu F$ вполне достаточна, причем для защиты цепи шунта можно даже обойтись емкостью $C=0,5\mu F$. На коротких волнах простой емкостный фильтр подавляет помеху лишь до уровня, в $2 \div 3$ раза выше допустимого. Чтобы получить нужное подавление на коротких волнах, останавливаемся для цепей якоря ($\pm Y_M$) на сложном емкостном фильтре по схеме фиг. 15 с емкостями $C_1=C_2=0,5\mu F$. Так как ток шунта невелик (максимум 1,2 А), то для защиты цепи шунта, повицидому, будет выгоднее применение Г-образного фильтра при $C=0,5\mu F$. Так как на длинных волнах достаточно эффективна эффективность простого емкостного фильтра, то индуктивность дросселя может быть взята очень небольшой. Однако, как указывалось ранее, иметь $\lambda_0 < 10\,000\text{ м}$ нежелательно. Поэтому полагаем $\lambda_0 = 10\,000\text{ м}$ и находим L по формуле (25):

$$L = \frac{281 \cdot \lambda_0^2}{C} = 5,6 \cdot 10^4 \text{ см.}$$



Фиг. 28. Кривые U_{II} на зажимах $\pm Y_M$ у БН-4; БА-4; ЦН-3; ЦА-3.



Фиг. 29. Кривые U_{II} на зажимах $+Y_M$ и $Ш_M$ у Ц-6.

Для увеличения эффективности фильтра в диапазоне коротких волн в 2—3 раза по сравнению с простым емкостным фильтром необходимо иметь длину участка ad (фиг. 15) равной 8—10 см.

Концы $+Ш_M$ и $+Y_M$ соединяются вместе до фильтра.¹

2. Цепи накаливого генератора

На фиг. 30 показаны кривые мешающего напряжения на зажимах $\pm Y_{II}$ агрегатов БН-4 и ЦН-3 без защиты (верхние кривые) и с защитой емкостным фильтром $C=1 \mu F$ (нижние кривые). На основании кривых фиг. 30 и фиг. 17 останавливаемся для защиты цепей накаливого генератора ($+Y_{II}$, $-Y_{II}$ и $Ш_{II}$) на сложном емкостном фильтре (фиг. 15) с $C_1=C_2=0,5 \mu F$ и расстоянием ad 8 ÷ 10 см.

3. Цепь переменного тока

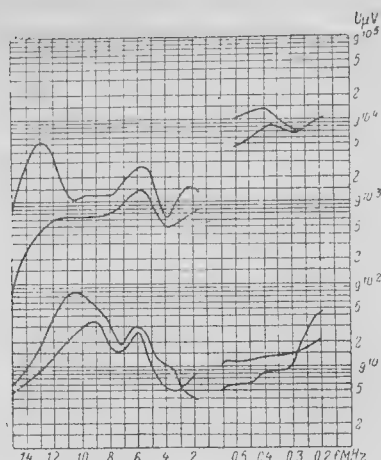
На фиг. 31 даны кривые мешающего напряжения на зажимах переменного тока агрегата Д-13 без защиты (кривая 1), с защитой простым емкостным фильтром $C=0,5 \mu F$ (кривая 2) и с защитой Г-образным фильтром при $C=0,5 \mu F$ (кривая 3).

На фиг. 32 показаны кривые мешающего напряжения на зажимах переменного тока агрегата Ц-6, с защитой емкостным фильтром $C=0,5 \mu F$ (кривая 1) и без защиты (кривая 2). Как видим из кривых, представленных на фиг. 31 и 32, емкостный фильтр недостаточен. Останавливаем свой выбор на Г-образном фильтре. На основании этих же кривых полагаем, что мешающее напряжение на зажимах переменного тока агрегата Б-5 на волне $\lambda_{max}=1400$ м (0,21 МГц) без защиты будет равно $U_{II}=5000 \mu V$.

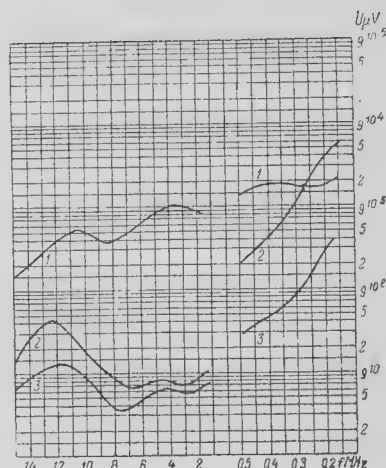
Так как допустимое напряжение $U_{II, доп.}=100 \mu V$, то

$$\mathcal{E} = \frac{U_{II}}{U_{II, доп.}} = 50, \quad \lambda_0 = \lambda_{max} \sqrt{\mathcal{E}} = 10000 \text{ м.}$$

¹ Соединение между собой концов, не выходящих наружу, всегда следует производить до фильтра.



Фиг. 30. Кривые U_n на зажимах $\pm Y_n$ у БН-4 и ЦН-3.



Фиг. 31. Кривые U_n на зажимах $\sim$ Д-13:

1 — без защиты; 2 — с защитой $C = 0,5 \mu F$; 3 — с Г-образным фильтром.

При $C = 0,5 \mu F$ для этого случая, как было сосчитано ранее,
 $L = 5,6 \cdot 10^4 \text{ см.}$

4. Блокировка

Для защиты концов блокировки по опыту с машинами Ц-3, Б-4, Ц-5 и Д-13 полагаем достаточным простой емкостный фильтр $C = 0,5 \mu F$.

5. Защита цепи $Ш_A$

Один из концов $Ш_A$ соединен с Y_n до фильтра. Защиту второго конца производим таким же фильтром, как и защиту $Ш_n$.

6. Сеточный генератор $2 \times 750 \text{ V}$

Выбираем в качестве емкости конденсатор типа Г завода 210 № 2404: $C = 10\,000 \mu F$, рабочее напряжение 2000 V .

На фиг. 33 приведены кривые мешающего напряжения на зажимах $\pm Y_n$ генераторов $2 \times 750 \text{ V}$ агрегатов Ц-3, Б-4 и Д-13 без защиты.

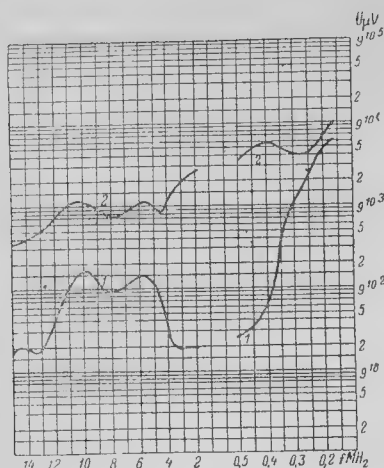
Как видим, в диапазоне длинных волн мешающее напряжение достигает $50\,000 \mu V$.

На фиг. 34 приведены кривые мешающего напряжения на зажиме $+Y_1$ агрегата Д-13 без защиты (кривая 1), с защитой простым емкостным фильтром $C = 20\,000 \mu F$ (кривая 2) и с защитой П-образным фильтром (кривая 3). Как видим, защита, даваемая емкостным фильтром, недостаточна. Можно было бы улучшить защиту, увеличив емкость до $80\,000 \mu F$ и применив для подавления пика помех на частоте $4,5 \text{ MHz}$ сложный фильтр по схеме фиг. 12. Однако увеличение емкости до $80\,000 \mu F$ потребует соединения восьми конденсаторов параллельно, что крайне неудобно.

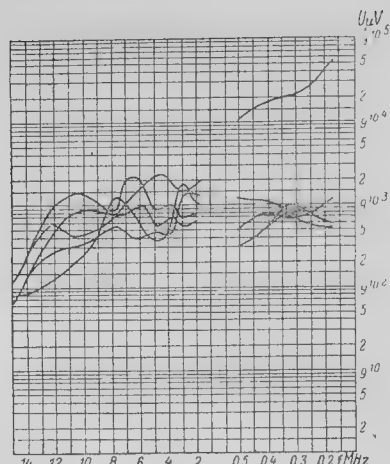
Гораздо удобнее и надежнее поставить Г-образный фильтр.

Производим расчет дроселя L , исходя из уравнения

$$\mathcal{Z} = \frac{U_n}{U_{\text{и.доп.}}} = \frac{50\,000}{100} = 500,$$



Фиг. 32. Кривые U_{II} на зажимах Ц-6:
1 — с защитой $C = 0,5 \mu F$; 2 — без защиты.



Фиг. 33. Кривые U_{II} на зажимах $\pm Я$ у
ЦС-3, БС-4 и Д-13.

$$\lambda_0 = \lambda_{\max} \sqrt{\mathcal{E}} = 31300 \text{ м}, \quad L = \frac{281 \cdot \lambda_0}{C} = 2,75 \cdot 10^7 \text{ см.}$$

Дроссель с такой индуктивностью получится слишком громоздким, поэтому переходим к П-образному фильтру.

При $C = 10000 \mu F$ можно ожидать, что мешающее напряжение на первом конденсаторе при $\lambda = 1400 \text{ м}$ будет равно $800-1000 \mu V$ (приблизительно, в 2 раза больше, чем у кривой 2 на фиг. 33, так как эта кривая снята при $C = 20000 \mu F$), поэтому:

$$\mathcal{E} = \frac{10000}{100} = 10, \quad \lambda_0 = 4430 \text{ м.}$$

Берем $\lambda_0 = 10000 \text{ м}$, и тогда

$$L = 2,7 \cdot 10^6 \text{ см.}$$

7. Анодный генератор $2 \times 2000 \text{ В}$

Для защиты проводов $-Я_1$, — „сушка“ и $+Я_1$, $-Я_2$ (рабочее напряжение до 2000 В) выбираем конденсатор типа Г завода 210 № 2404, $C = 10000 \mu F$.

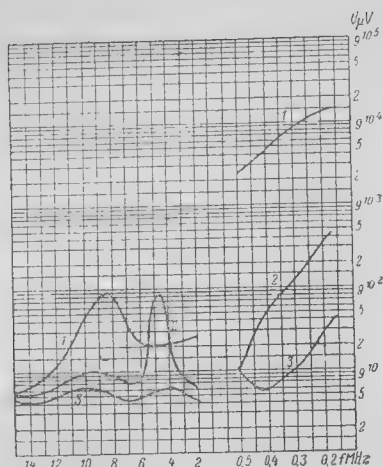
Для защиты проводов $+Я_2$ и $+ „сушка“$ выбираем конденсатор типа Г завода 210 № 2412, $C = 2000 \mu F$ (рабочее напряжение 4000 В).

На фиг. 25 приведены кривые мешающих напряжений на выходе генераторов $2 \times 2000 \text{ В}$ машин Ц-3 и Б-4 в случае отсутствия защиты.

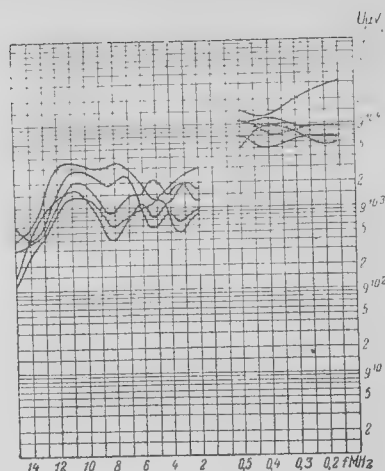
На основании кривых фиг. 35 и фиг. 33 полагаем, что для проводов $-Я_1$, — „сушка“ и $+Я_1$, $-Я_2$ будет достаточен фильтр с теми же параметрами, что и у сеточного генератора, т. е. П-образный фильтр с

$$C = 10000 \mu F \text{ и } L = 2,7 \cdot 10^6 \text{ см.}$$

В провода $+Я_2$ и $+ „сушка“$ в силу малой величины емкости ($C = 2000 \mu F$) придется ставить двухъячейковый Г-образный фильтр.



Фиг. 34. Кривые U_H на зажимах + Я₁ Д-13:
1 — без защиты; 2 — с $C = 20\,000\ \mu\text{F}$;
3 — с П-образным фильтром.



Фиг. 35. Кривые U_H на зажимах $\pm Y$ у БА-4 и ЦА-3.

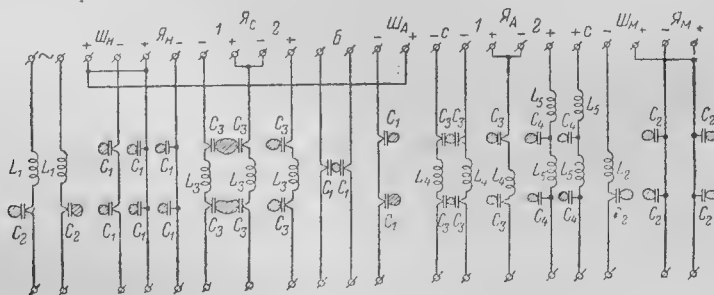
Рассчитываем L этого фильтра, исходя из

$$\mathcal{Z} = \frac{30\,000}{100} = 300,$$

$$\lambda_0 = 1400 \sqrt{300} = 5850\ \text{м}.$$

Полагаем $\lambda_0 = 10\,000\ \text{м}$. Тогда

$$L = 1,4 \cdot 10^7\ \text{см}.$$



Фиг. 36.

C_1 — ЗКС-52 10 шт.
 C_2 — ЗКС-54 7 шт.
 C_3 — тип Г 10 000 μF 12 шт.
 C_4 — тип Г 2000 μF 4 шт.

L_1 — 56 μH — 16А 2 шт.
 L_2 — 56 μH — 1,4А 1 шт.
 L_3 — 2,7 мН — 0,65А 3 шт.
 L_4 — 2,7 мН — 1А 3 шт.
 L_5 — 14 мН — 1А 2 шт.

В результате всего изложенного схема фильтра принимает вид, представленный на фиг. 36.

Конструктивного расчета дросселей не приводим, так как он не представляет особого интереса.

НОВЫЕ КОРАБЕЛЬНЫЕ КАБЕЛИ СЛАБОГО ТОКА

Н. И. Рывинский

Воен. инж. 2 ранга

И. Я. Розенблит

Инженер

Применяемые до настоящего времени для телефонии, широкофикации и различного рода сигнализации корабельные кабели мало отличаются по своей конструкции от кабелей, применявшихся 25 лет тому назад. Однако за это время техническое оснащение кораблей ВМФ различной аппаратурой слабого тока сильно изменилось, поэтому существенно меняются и требования, предъявляемые к корабельным кабелям.

Как известно, важнейшими величинами, определяющими качество частотной передачи (телефония, трансляция, сигнализация), являются:

а) собственное затухание линии, характеризующее возможную дальность передачи, и

б) затухание переходных токов между отдельными цепями, которое по нормам Международного Консультативного Комитета по телефонии (МКК) должно быть не менее 8,5 непер для основных цепей. Эта величина обеспечивает невозможность подслушивания разговоров, ведущихся по соседним цепям, в случае объединения в одном кабеле нескольких абонентских линий.

Первая величина, собственное затухание линии, характеризующая качество телефонной передачи, ввиду небольших длин прокладываемых кабелей (максимально 0,5—0,7 км) при любых диаметрах жил не вызывает никаких опасений.

Для установления величины затухания переходных токов были проведены испытания кабеля СРМ 10 × 1 длиной 100 м.

Измерения производились при помощи измерительной стойки ИСА-2 (завода № 9 НКС) на частоте 1000 Hz при следующих нагрузках:

$$Z_{\text{нагр.}} = \infty,$$

$$Z_{\text{нагр.}} = 800 \text{ ом},$$

$$Z_{\text{нагр.}} = Z \text{ аппарата АТС при снятой трубке},$$

$$Z_{\text{нагр.}} = 50 \text{ ом}.$$

Как видно из таблицы 1, величина затухания переходных токов при различных комбинациях мешающих и подверженных цепей колеблется в пределах 5,5—8,5 непер.

Таблица 1

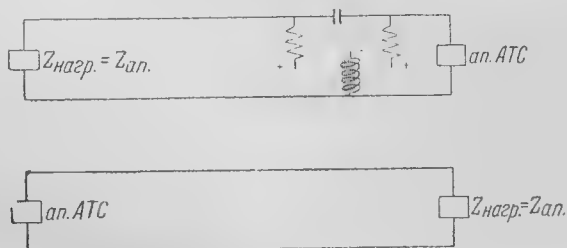
Величины затухания переходных токов для кабеля СРМ 10×1 при различных нагрузках

$Z_{\text{нагр. ом}}$	Число пар, подвергнутых испытанию	Переходное затухание между парами		Число пар с переходным затуханием больше 8 непер	Число пар с переходным затуханием меньше 8 непер	% пар с переходным затуханием больше 8 непер	% пар с переходным затуханием меньше 8 непер
		Максимальная величина в непер	Минимальная величина в непер				
5	10	8,1	4,6	1	9	10	90
800	10	8,6	5,4	1	9	10	90
50	10	6,8	4,3	0	10	0	100

Полученный результат не удовлетворяет нормам МКК, так как в таком кабеле имеется полная возможность подслушивать разговор, ведущийся по соседней цепи. Кроме того, в момент полной загрузки кабеля (когда большая часть абонентов разговаривает) будут создаваться значительные взаимные помехи.

Нижеприводимый опыт дает возможность физически ощутить практическое значение норм МКК для переходного затухания.

На отрезке кабеля СРМ 10×1 , длиной 50 м, были проведены испытания на прослушивание разговора, причем в качестве мешающей и подверженной цепи были взяты жилы кабеля с затуханием переходных токов 7,0 и 8,8 непер. Испытания проводились субъективным методом при помощи двух телефонных аппаратов АТС, включенных на противоположных концах мешающей и подверженной цепи (фиг. 1).



Фиг. 1.

Аппараты мешающей цепи были включены через обычный мостик, питающий КАТС, в местах, исключающих возможность непосредственной акустической связи между персоналом, проводившим опыты.

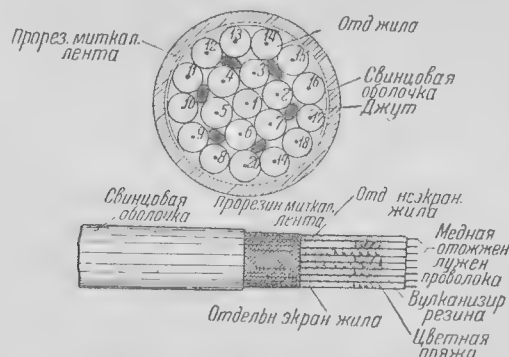
Аппараты подверженной цепи включались как через питающий мостик КАТС, так и без него. По мешающей цепи происходил нормальный разговор и передавались зуммерные сигналы от машинного зуммера АТС.

В цепи с затуханием переходных токов 7,0 непер разговор в подверженной цепи был для понимания достаточно громким. Звук зум-

мера АТС был настолько громким, что мог быть принят не за мешающий, а за прямой сигнал.

При затухании переходных токов в 8,8 непер прослушивался лишь незначительный шум, разобрать который было невозможно. Зуммер АТС не прослушивался.

В итоге было установлено, что, вследствие низких величин затухания переходных токов, объединение в одном кабеле существующего



Фиг. 2 Конструкция кабеля марки СРЭТМ $20 \times 1 \text{ мм}^2$ ($1 + 6 + 13 \times 1 \text{ мм}^2$). Жилы экранированы через одну металлизированной бумагой.

типа нескольких цепей телефонии, трансляции и сигнализации не представляется возможным.

Вследствие этого каждая двух- или четырехпроводная цепь слабого тока должна прокладываться отдельными самостоятельными кабелями, что приводит:

- а) к значительному увеличению веса прокладываемого кабеля (главным образом, за счет свинца),
- б) усложнению монтажа,
- в) ослаблению переборок корабля (потребуется большее количество сальников),
- г) удорожанию стоимости монтажных работ.

Помимо указанных недостатков, кабели марки СРМ и СРТМ не удовлетворяли требованиям ВМФ в отношении теплостойкости резины. Завод „Севкабель“ гарантировал длительный нагрев кабелей при температурах не выше 50°C .

Перед НИМИСТ'ом была поставлена задача разработать новый тип кабеля, допускающий объединение нескольких цепей слабого тока при повышении теплостойкости резиновой изоляции до $70-80^\circ$.

По техническому заданию НИМИСТ'а завод „Севкабель“ на основе существующего кабеля СРТМ разработал новые конструкции корабельных телефонных кабелей. Заводом были изготовлены:

- а) кабель парной скрутки $10 \times 2 \times 1 \text{ мм}^2$,
- б) кабель четверочной скрутки $5 \times 4 \times 1 \text{ мм}^2$,
- в) кабель СРТМ с экранированными жилами $20 \times 1 \times 1 \text{ мм}^2$.

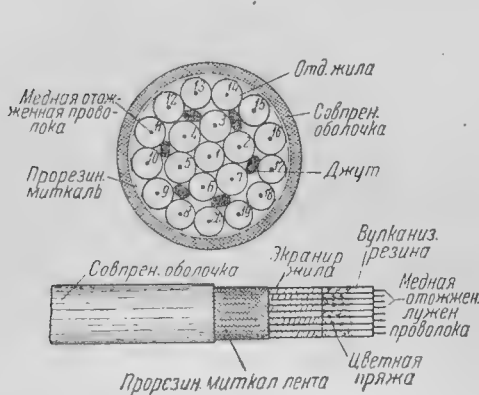
На фиг. 2, 3 и 4 представлены разрезы изготовленных кабелей. Основные данные изготовленных кабелей приведены в таблице 2.

Таблица 2

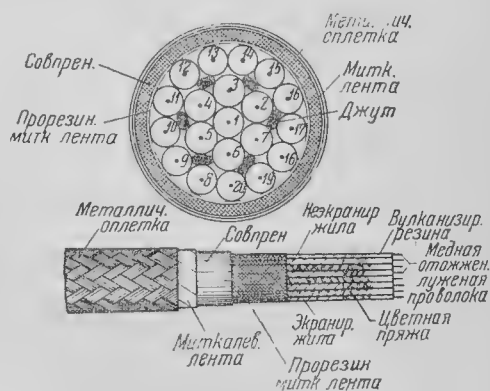
Общие данные кабеля	Кабель парной скрутки	Кабель четверочной скрутки	Кабель СРТМ с экранированными жилами
Система скрутки	$(2 + 8) \times 2$	5×4	$1 + 6 + 13$
Диаметр по свинцу	24,4 мм	20,4 мм	19,8 мм
Вес на 1 км	1250 кг	1216 кг	1125 кг

Образцы были подвергнуты электрическим, механическим и специальным заводским испытаниям.

Механические испытания проводились по специальной программе, учитывающей условия монтажа кабелей на корабле, и показали полную пригодность всех кабелей.



Фиг. 3. Конструкция кабеля марки НРЭТМ $20 \times 1 \text{ мм}^2$ ($1 + 6 + 13 \times 1 \text{ мм}^2$). Все жилы экранированы металлической бумагой.



Фиг. 4. Конструкция кабеля марки НРЭТМ $20 \times 1 \text{ мм}^2$ с металлической оплеткой поверх совпрена ($1 + 6 + 13 \times 1 \text{ мм}^2$).

Большие сомнения вызвал кабель СРТМ с экранированными жилами, так как предполагалось, что при паячных работах экран, выполненный из бумажной металлизированной ленты, будет выгорать. Испытания показали необоснованность таких предположений, так как при многократных умышленных прожиганиях свинцовой оболочки в местах пайки не удалось получить выгорания металлизированной бумаги.

Целью электрических испытаний было определение омического сопротивления изоляции, напряжения пробоя и затухания переходных токов для сопоставления с техническими условиями на кабель.

В таблице 3 приведены результаты измерений затухания переходных токов, производившихся при заведомо самых невыгодных условиях, когда противоположный конец не был нагружен, т. е. $Z_{\text{нагр.}} = \infty$.

Как видно из таблицы 3, только кабель СРТМ с экранированными жилами удовлетворяет нормам МКК, так как минимальное затухание переходных токов для этого кабеля равно 10,7 непер. В кабелях парной и четверочной скрутки затухание переходных токов для отдельных комбинаций пар получилось в пределах 5—7 непер (около 20%)

Таблица 3

Величины переходных затуханий для различных кабелей при $f = 800 \text{ Hz}$

Тип кабеля	Длина кабеля	Число пар, подвергнутых испытанию	Переходное затухание между парами		Число пар с переходным затуханием больше 8,5 непер	Число пар с переходным затуханием меньше 8,5 непер	% пар с переходным затуханием больше 8,5 непер	% пар с переходным затуханием меньше 8,5 непер
			Максимальная величина в цепях	Минимальная величина в цепях				
СРТМ 10 × 2 × 1 парная скрутка	105	45	11,5	5,3	21	24	46,5	53,5
СРТМ 5 × 4 × 1 скрутка звездой	104	57	10,3	5	9	48	15,8	84,2
СРТМ 20 × 1 × 1 с экранированными жилами	91	33	12,4	10,7	33	0	100	0

пар). Поэтому ни в одном из этих кабелей невозможно было объединить несколько цепей.

Если принять диаметр и вес одного км кабеля СРТМ за 100%, то кабели парной и четверочной скрутки дают соответственно:
по диаметру 146 и 122%,
по весу 119 и 116%.

Эти величины, являясь основными с точки зрения экономичности новых типов кабелей, также позволяют сделать вывод о нежелательности их применения.

Предложенный для использования кабель СРТМ с экранированными жилами, получивший в дальнейшем заводскую марку СРЭТМ, давал по сравнению с обыкновенными кабелями СРТМ приращение диаметра на 19% и веса на 7%.

В дальнейшем, в результате ряда экспериментальных работ по изысканию еще более экономичных кабелей были разработаны и изготовлены следующие образцы:

1. Кабель СРЭТМ на 20 жил, сечением 1 мм² каждая; конструкция $(1 + 6 + 13) \times 1 \text{ мм}^2$; экранировка жил через одну.

Вид кабеля в разрезе представлен на фиг. 2.

2. Кабель с сопреновой защитной оболочкой на 20 жил, конструкция $(1 + 6 + 13) \times 1 \text{ мм}^2$, с экранировкой всех жил. Этому кабелю заводом была присвоена марка НРЭТМ. Вид кабеля в разрезе представлен на фиг. 3.

3. Кабель НРЭТМ на 20 жил, конструкция $(1 + 6 + 13) \times 1 \text{ мм}^2$; поверх сопреновой оболочки имеется оплетка из стальных оцинкованных проволок диаметром 0,3 мм (24 коки $\times$ 8 проволок, шаг 54 мм). Экранировка жил через одну (фиг. 4).

Изготовленные образцы, помимо заводских испытаний, проведенных для выявления соответствия их поставленным техническим условиям, были испытаны на затухание переходных токов.

Результаты этих испытаний показали, что все три типа кабелей по затуханию переходных токов удовлетворяют нормам МКК, так например: для кабеля СРЭТМ 20×1 мм², длиной 100 м, с жилами, экранированными через одну, значения затухания переходных токов получались в пределах 9,4—11 непер; для кабеля НРЭТМ 20×1 мм², длиной 100 м, с жилами, экранированными через одну, и металлической оплеткой поверх совпреновой оболочки пределы изменения переходного затухания были 9,6—11 непер; наконец, для кабеля НРЭТМ 20×1 мм², длиной 100 м, с экранировкой всех жил переходное затухание получалось больше 11 непер как при неповрежденных экранах, так и при искусственном повреждении их через каждые 10—13 м.

Помимо этого, были проведены сравнительные испытания качества экранировки кабелей в области радиочастот, которые показали, что

1) металлизированная бумага дает ослабление помех в области коротких волн в 2—3 раза и в области длинных волн — в 5—9 раз, поэтому использование кабелей в совпреновой оболочке с металлизированной бумагой для монтажа на верхней палубе невозможно;

2) металлическая оплетка (чулок) дает коэффициент ослабления в пределах 30—60.

По затуханию переходных токов кабели марок НРЭТМ и СРЭТМ удовлетворяют нормам МКК и поэтому могут быть использованы для целей телефонии и широкополосного вещания на вновь строящихся кораблях при объединении нескольких цепей в один кабель. Но, кроме электрических характеристик, необходимо принимать во внимание имеющие также первостепенное значение механические и физические свойства защитных оболочек кабеля, так как при монтаже и в период эксплуатации в жестких корабельных условиях кабель подвергается различным внешним воздействиям.

Поскольку кабель со свинцовой защитной оболочкой применяется уже давно и свойства свинцовой оболочки достаточно хорошо известны, то следует вкратце остановиться на основных свойствах совпреновой оболочки, позволяющих судить о качестве кабелей марки НРЭТМ, рекомендуемых для ВМФ.

Совпрен по химическому составу является полимером хлоропрена, а с физической точки зрения — это каучукоподобный материал, обладающий большой гибкостью и упругостью. Кроме того, совпрен обладает еще рядом очень важных свойств, отличающих его от резины и поэтому дающих возможность использовать его в корабельных кабелях в качестве защитной оболочки вместо свинца. Основные из них:

- а) теплостойкость,
- б) озоностойкость,
- в) влагонепроницаемость и негигроскопичность,
- г) нерастворимость в минеральных маслах,
- е) сохранность эластичности и гибкости при колебаниях температуры в пределах $+60$ — -30°C и под действием солнечных лучей.

По сравнению со свинцовой оболочкой совпрен также имеет некоторые существенные преимущества, а именно:

- а) при разрывной прочности 80—90 кг/см² удлинение совпреновых оболочек достигает 650% (у свинца разрывная прочность 160 кг/см² при удлинении 20%);

б) совпрен в силу своей упругости и гибкости не разрушается от различного рода толчков, вибраций и выдерживает большое число перегибов, что очень важно при монтажных работах; всеми этими свойствами свинец не обладает вовсе и под действием указанных деформаций быстро разрушается;

в) удельный вес совпрена (1,4—1,65) в 8 раз меньше удельного веса свинца (11,36).

Все вышеизложенное с достаточной убедительностью подчеркивает правильность и своевременность поставленной задачи о замене свинцовой оболочки совпреновой.

Существенным недостатком совпрена являлся его неприятный резкий запах, но в настоящее время и этот недостаток почти полностью устранен.

Помимо указанных выше преимуществ, применение кабеля марки НРЭТМ в значительной степени понижает общий вес прокладываемых на кораблях кабелей и тем самым улучшает тактические свойства объекта.

В целях наглядности приведем сравнение весов различных марок кабелей, приведенных к 20-жильному (таблица 4).

Таблица 4

Марка кабеля	Число жил	Расчетный вес 1 км кабеля в кг	Вес кабеля, приведен- ного к 20- жильному	% веса по отношению к кабелю НРЭТМ 20 × 1 км ²	Примечание
НРЭТМ	20	650	650	100	Экранировка всех жил
НРЭТМ	20	785	785	121	Металлическая оплетка
СРЭТМ	20	1125	1125	173	Экранировка всех жил
СРЭТМ	20	1075	1075	165	Экранировка жил через одну
СРТМ	20	1050	1050	161	
СРТМ	4	455	2175	335	
СРТМ	2	345	3450	530	

Данные таблицы 4 показывают, что самым легким кабелем является кабель марки НРЭТМ с экранировкой всех жил, вес которого путем экранировки жил через одну может быть снижен до 600—620 кг. Это значит, что взамен 5 кабелей по 4 жилы или 10 кабелей по 2 жилы может быть проложен только один кабель, причем он будет в первом случае весить в 3,3, а во втором — в 5,3 раза меньше.

Если учесть, что на кораблях для целей телефонии и широкополосного прокладывания сотни кабелей с общей длиной в несколько километров, то целесообразность применения рекомендуемого для этих целей кабеля марки НРЭТМ станет совершенно очевидной. Приведем сравнительные расчетные данные основных кабелей связи, прокладываемых только по одному борту для двух объектов, проектируемых ЦКБ (таблица 5).

Таблица 5

Объект	Тип кабеля	Количество необходимых кабелей	Средняя жилаемость кабеля	Длина кабеля в метрах	Общая длина всех кабелей в метрах	Вес кабеля на всю длину в килограммах	Вес кабеля по отношению к кабелю СРТМ, принимаемому за 100%	
А	СРТМ	48	8	120	5760	3940	100,0	
	СРЭТМ	8	48	120	960	2150	54,6	
	НРЭТМ	8	48	120	960	1300	33,0	
Б	СРТМ	349	8	63	22000	13200	100,0	
	СРЭТМ	61	46	63	3840	8350	63,2	
	НРЭТМ	61	46	63	3840	5150	39,0	

Из таблицы 5 видно, что при применении кабелей марки НРЭТМ вместо СРТМ, только для основной кабельной магистрали связи достигается уменьшение веса:

для объекта А 67% (2640 кг),

для объекта Б 61% (8050 кг).

Выше было уже отмечено, что совмещение нескольких пар в одном кабеле типа СРТМ вообще недопустимо, поэтому монтаж необходимо было бы производить однопарным или, в самом крайнем случае, двухпарным кабелем. В этом случае весовой выигрыш, получаемый от применения кабелей типа СРЭТМ и, в особенности, НРЭТМ, увеличится, по меньшей мере, вдвое.

Подводя итоги тактико-техническим преимуществам новых кабелей, нельзя не остановиться на том, что кабель марки НРЭТМ исключает применение остродефицитного материала — свинца, а кабель СРЭТМ дает возможность осуществить значительную экономию его. Это наглядно иллюстрируется данными, приведенными в таблице 6.

Таблица 6

Сравнение расхода свинца (по данным завода „Севкабель“)

Количество жил кабеля	Тип кабеля		Расход свинца на пару жил в кабеле СРЭТМ	% по отношению к однопарному кабелю типа СРТМ
	СРТМ	СРЭТМ		
	Расход свинца в кг/км		в кг/км	
2	295	344	344	117,0
4	312	402	201	68,0
6	406	481	160	54,5
8	440	522	131	41,5
10	520	618	124	42,0
12	535	639	107	36,0
16	596	714	90	30,5
20	648	776	78	26,5
30	788	949	63	21,4
40	—	1069	53	18,0

Из таблицы 6 на первый взгляд кажется, что расход свинца в кабеле СРЭТМ больше, чем в кабеле СРТМ. Это объясняется тем, что экранировка жил увеличивает диаметр скрутки кабеля, а следовательно, и вес свинца. Однако, если учесть, что из-за недопустимо малых величин затухания переходных токов в кабеле СРТМ нельзя объединить несколько телефонных цепей, а в кабеле СРЭТМ это вполне возможно, то получается, что для 40-жильного кабеля длиной в 1 км расход свинца на одну пару жил кабеля СРЭТМ на 242 кг меньше, чем для однопарного кабеля СРТМ, т. е. составляет по отношению к последнему всего 18%.

Если к этому добавить еще то, что наша кабельная промышленность до настоящего времени полностью не обеспечивается отечественным свинцом, а вторая империалистическая война значительно затрудняет и сокращает импорт этого дефицитного материала, то преимущества второго рекомендуемого типа кабеля марки СРЭТМ становятся совершенно очевидными.

В заключение приведем основные технические требования, которые необходимо предъявлять при заказе корабельных кабелей с совпреновой защитной оболочкой.

1. Изоляция отдельных жил кабеля должна быть изготовлена из теплостойкой резины, допускающей длительный нагрев при температуре не ниже 65°C.

2. После старения в термостате при 25°C в течение шести дней механические показатели теплостойкой резиновой изоляции не должны ухудшаться более, чем на 25%.

3. Толщина совпреновой оболочки должна быть не менее 2,5 мм.

4. Оболочка совпренового кабеля должна изготавливаться из дезодорированного совпрена с содержанием димеров не более 0,12%.

5. После вулканизации кабель должен быть подвергнут дополнительной технической вакуумной обработке.

6. Механические свойства совпрена должны быть следующими:

а) весовое содержание каучука — 40%,

б) разрывное усилие не менее 80 кг/см²,

в) удлинение при разрыве не менее 400%.

7. Оболочка кабеля после пребывания в термостате при температуре 120°C в течение 2 суток при однократном изгибании образца кабеля на 180° не должна ломаться или давать трещины, а должна сохранять упругость и эластичность.

8. Оболочка кабеля после пребывания в трансформаторном масле при комнатной температуре в течение трех суток не должна давать приращения в весе больше, чем 0,03 г на 1 см² наружной поверхности кабеля, находившегося в масле.

9. Оболочка кабеля после пребывания в воде, содержащей 5% NaCl, при комнатной температуре в течение трех суток не должна давать приращения в весе больше, чем на 0,005 г на 1 см² наружной поверхности образца кабеля, находившегося в воде.

10. Совпреновая оболочка кабеля не должна иметь посторонних механических примесей и непромешанных наполнителей. В разрезе она не должна быть пористой.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. При монтаже объединенных частей телефонии и широкополосного на новых кораблях ВМФ необходимо отказываться от применения кабелей марки СРТМ.

2. Все монтажи цепей слабого тока под палубой производить кабелем марки НРЭТМ с экранировкой жил через одну.

3. Для палубных монтажей применять кабели марки СРЭТМ с экранировкой жил через одну.

4. Подводку кабелей к отдельным абонентам производить на верхней палубе маложильными кабелями марки СРЭТМ, в остальных случаях — кабелем НРЭТМ.

5. В связи с тем, что кабель марки НРЭТМ с металлической оплеткой обеспечивает только удовлетворительное подавление радиопомех и не обеспечивает абсолютной водо- и газонепроницаемости при прохождении через сальники переборок, то кабели этой марки можно использовать на вспомогательных судах и других объектах ВМФ, имеющих второстепенное значение.

6. Кабели марок СРЭТМ, НРЭТМ и НРЭТМ с металлической оплеткой и экранировкой жил через одну металлизированной бумагой могут быть использованы не только на кораблях, но и на других береговых объектах ВМФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Публикуемые в настоящей статье выводы являются результатом первого этапа работы. В задачу ее не входили анализ и обоснование целесообразного использования жил применяемых кабелей слабого тока, хотя этот вопрос в настоящее время серьезно обсуждается. Можно предполагать, что максимальное число жил кабеля, вместо 46 в настоящее время, будет увеличено до 150—200. В этом случае все выводы, приведенные в этой статье, останутся в силе. Кроме того, благодаря применению новых корабельных кабелей связи значительно улучшаются тактико-технические свойства аппаратуры связи и повышается экономический эффект.

АППАРАТУРА УПЛОТНЕНИЯ МОРСКИХ БЕРЕГОВЫХ ТЕЛЕФОННО-ТЕЛЕГРАФНЫХ ЛИНИЙ

Инж. А. В. Яковлев

Вступление. Осуществление проволочной телефонно-телеграфной связи на большие расстояния требует сооружения линий и станций. Эксплуатация линий, как правило, вызывает значительно больше затрат, чем оборудование конечных телефонно-телеграфных станций. Кроме того, линейные повреждения более часты, чем станционные перерывы связи. Поэтому всегда стремились полнее использовать существующие провода, создавая дополнительные связи за счет усложнения оборудования станций без подвески дополнительных проводов.

В СССР долгое время считалось, что телеграф предназначается для связи на дальнее расстояние, а телефон для связи между близлежащими пунктами. Соответственно этому цепи для телеграфной связи устанавливались по проводам, имеющим меньшее сопротивление, т. е. больший диаметр. Кроме того, для телефонной связи большей частью использовались однопроводные цепи, а для телеграфной—двухпроводные. По мере развития техники проводной связи (применение электронных ламп) роль телефона, как связи, действующей на более короткие расстояния, изменяется, так как организуются и оборудуются усиленные пункты, дающие возможность значительно увеличить дальность действия телефона.

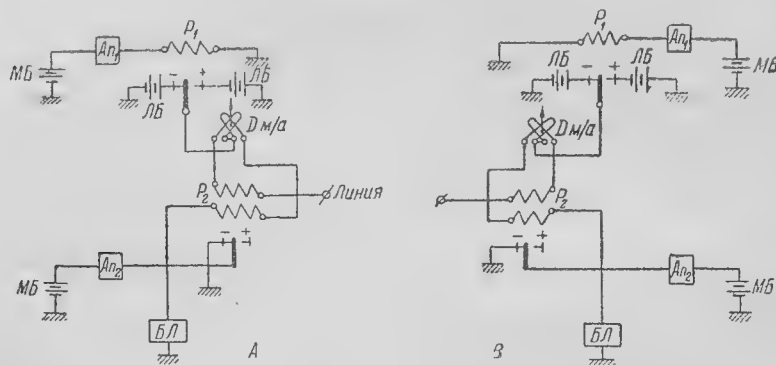
Развитие техники связи дало возможность использовать двухпроводную цепь для нескольких одновременных телефонно-телеграфных связей. Такие цепи называются уплотненными цепями. В настоящей статье будут рассмотрены основные принципы и аппаратура уплотнения цепей, применяемая в СССР, а также перспективы ее дальнейшего развития.

1. Уплотнение телефонно-телеграфных цепей в подтональном спектре. Прогресс телеграфной связи долгое время шел по линии улучшения конечной телеграфной аппаратуры. Запись на ленту знаков Морзе заменилась буквопечатанием, и на смену аппарату Морзе явились аппараты Юза и Бодо. Как аппарат Морзе, так и аппарат Юза дают возможность вести передачу в двух направлениях поочередно, т. е. работать очередным симплексом или полудуплексом. В аппарате Бодо передача может производиться в двух встречных направлениях одновременно: имеет место так называемая дуплексная или двухкратная работа. В четырехкратной системе Бодо осуществляются одновременно две передачи одного направления и две другого, т. е. двойной дуплекс. Четырехкратный аппарат Бодо громоздок, и работа на нем требует

предварительной подготовки, хотя использование линии при этом значительно возрастает благодаря тому, что уменьшается величина промежутка рабочей посылки тока.

В аппаратах типа Уитстона использование линии улучшено за счет замены ручной манипуляции автоматической с предварительно перфорированной лентой.

По мере развития техники связи были изобретены однократные стартстопные телеграфные аппараты с клавиатурой, как у пишущей машинки, и с непосредственным буквопечатанием. К ним относятся аппараты системы Шорина, Тремля, Телетайпа и др.



Фиг. 1. Принципиальные схемы оконечных станций ДС-38;

P_1 , P_2 —реле передачи и приема; БЛ—балансная линия; МБ, ЛБ—местная и линейная батареи; $A_{п1}$, $A_{п2}$ —передающий и приемный телеграфный аппарат, Дм/а—дифференциальный миллиамперметр, А и В—оконечные станции дуплексного телеграфа.

В данное время осваивается производство рулонных телеграфных аппаратов с буквопечатанием не на ленту, а непосредственно на лист (или рулон) бумаги. Это устраняет операцию по наклеиванию ленты.

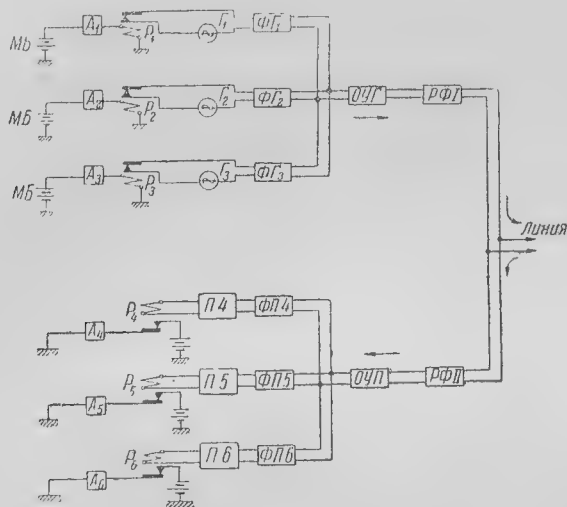
Для повышения скорости работы стартстопных телеграфных аппаратов они могут быть переведены на автоматическую работу с предварительно перфорированной лентой.

Кроме того, ведутся работы по многократному использованию линии путем применения аппаратов Мультитекс МН-37, где 4 однократных аппарата типа Телетайп входят как составная часть оконечного оборудования телеграфной цепи. Таким образом, укорочением промежутка рабочей посылки, т. е. увеличением числа бод, или основной частоты телеграфной передачи, и усовершенствованием оконечной аппаратуры стремятся достигнуть лучшего использования телеграфной цепи.

Кроме дуплексных схем, осуществляемых непосредственно в самой схеме данного типа телеграфного аппарата, имеются некоторые приборы, осуществляемые отдельно от последних и допускающие уплотнение линий различными системами телеграфных аппаратов. Часть этих приборов основана на принципе моста Уитстона (линия включается в одно из плеч моста, а приемник и передатчик—в его диагонали), и часть—на принципе применения дифференциальных обмоток линейного реле. В качестве примера таких приборов можно указать дуплексный прибор ДС-38 для аппарата СТ-35. (Принципиальные схемы оконечных станций прибора ДС-38 представлены на фиг. 1).

Другая аппаратура уплотнения линий в подтональном спектре не получила распространения в ВМФ и поэтому в данной статье рассматриваться не будет.

II. Уплотнение телефонно-телеграфных цепей в тональном спектре.
До настоящего времени тональным спектром нормальной коммерческой телефонной передачи считалась полоса частот от 300 до 2400 герц. Такая полоса обеспечивала неискаженный прием на существующие телефонные аппараты только человеческой речи. Для передачи музыкальных произведений необходима более широкая полоса частот (порядка 200—5000 герц).



Фиг. 2. Скелетная схема МТТ-6.

В настоящее время по решению Международного Консультативного Комитета (МКК) ширина частотной полосы одного телефонного канала принята равной 300—3600 герц. Такая полоса обеспечивает более совершенный прием при наличии телефонных аппаратов, воспроизводящих без искажения эти частоты.

В отдельных случаях в зависимости от требований в отношении качества связи ширина полосы тонального спектра может изменяться.

В полосе частот (300—2400 герц) может разместиться несколько телеграфных каналов, каждый из которых занимает полосу 90—120 герц. Таким образом, при установке на оконечных станциях аппаратуры многократного тонального телеграфирования (МТТ) можно, вместо одного телефонного канала, получить несколько телеграфных каналов, т. е. подтональную телеграфную работу перенести в тональный спектр частот.

Для стальных и кабельных цепей промышленностью выпускается аппаратура МТТ-6, работающая по следующему принципу (фиг. 2).

Пусть A_1, A_2, A_3 —телеграфные аппараты, с которых производится передача. Эти аппараты включены на реле P_1, P_2, P_3 , которые замыкают цепи отдельных ламповых генераторов $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ с тональными

частотами 420, 660 и 900 герц на общий усилитель генератора (ОУГ) через соответствующие фильтры генераторов $\Phi\Gamma_1$, $\Phi\Gamma_2$ и $\Phi\Gamma_3$.

Усиленные общим усилителем (ОУГ) токи тональных частот от Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 проходят через разделительный фильтр (РФ-I) на линию. Фильтр РФ-II не пропускает эти токи в цепь приема.

Таким образом, на линию будут поступать импульсы тока генераторов Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 , по продолжительности равные времени замыкания контактов телеграфных аппаратов A_1 , A_2 и A_3 .

С противоположного конца цепи от аналогичной установки на линию посылаются импульсы от тональных генераторов Γ_4 , Γ_5 , Γ_6 (1260, 1500 и 1740 герц). Эти импульсы проходят через разделительный фильтр РФ-II, усиливаются общим усилителем приема (ОУП) и распределяются по каналам приемными фильтрами $\Phi\Pi_1$, $\Phi\Pi_2$ и $\Phi\Pi_3$ так, что ток от Γ_4 попадает в приемник Π_4 , ток от Γ_5 — в приемник Π_5 , и ток от Γ_6 — в Π_6 .

В приемниках происходит вторичное усиление входящих токов и их выпрямление (детектирование). Выпрямленный ток проходит по обмоткам реле приема P_4 , P_5 , P_6 , контактами которых замыкаются цепи местной батареи с включенными в них приемными телеграфными аппаратами (A_4 , A_5 или A_6).

При использовании для связи отдельных каналов передачи и приема и соответствующем изменении схемы включения аппарата можно вести телеграфную связь с правом перебоя (очередной симплекс или полудуплекс). В этом случае количество телеграфных аппаратов на конечных станциях будет вдвое меньше, но и пропускная способность связи тоже падает. На этом же принципе основана аппаратура для многократного тонального телеграфирования на 10 каналов (МТТ-10).

Дальность действия тонального телеграфа без установки промежуточных усилительных пунктов ограничена допустимым затуханием тональных токов на линии, которая равна 4 неперам. Это соответствует дальности передачи в 150—200 км по стальным проводам диаметром 4 мм.

В лабораторных условиях проверена возможность установки 5 промежуточных усилителей на стальной линии ($\varnothing$ 4 мм) при усилительных участках длиной 120 км. Кроме того, в установках МТТ-6/10 предусмотрена возможность выноса любого телеграфного аппарата от места установки МТТ на расстояние до 50 км при наличии соединительных проводов.

Для увеличения дальности действия телеграфного аппарата необходимо повышать напряжение батарей или включать их через дуплексные приборы (ДС-38). Для связи с промежуточными усилительными пунктами могут быть использованы две подтональные (нормальные) телеграфные связи, получаемые при помощи делительных фильтров.

В установках предусмотрена возможность быстрой коммутации телеграфных аппаратов с одного тонального канала на другой, что является весьма удобным при порче телеграфного аппарата или тональной аппаратуры.

Для определения частоты генератора любого канала пользуются формулой, предложенной МКК:

$$f = 300 + 120 \cdot k,$$

где k — порядковый номер канала.

Согласно данной формуле в установке МТТ-6 были приняты частоты каналов, соответствующие k , равному 1, 3, 5, 8, 10 и 12, а в МТТ-10— k , равному 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11 и 12.

Для разделения частотных каналов одного направления передачи от другого в обеих установках отброшены два канала: 6 и 7.

Основными требованиями, предъявляемыми к системам многократного тонального телеграфирования, являются:

- а) устойчивость и неискажаемость передачи по каждому каналу,
- б) отсутствие взаимных помех одного тонального канала на другой,
- в) отсутствие помех на соседние линии связи и
- г) отсутствие влияния внешних помех на связь по тональному телеграфному каналу.

Это последнее обстоятельство приходится особо учитывать в районах с большими земными токами (вблизи электрических железных дорог и на севере, в районах магнитных бурь).

Таким образом, быстрота коммутации аппаратуры, а также возможность включения телеграфных аппаратов на промежуточных пунктах и выноса их на оконечных станциях дают большое преимущество тональному телеграфу по сравнению с другими системами многократного телеграфирования.

III. Высокочастотное телефонирование по стальным и кабельным цепям. При использовании двухпроводной стальной или кабельной линии для многократного тонального телеграфа невозможна нормальная телефонная связь по этой цепи, и, следовательно, возникает необходимость переноса ее в область более высоких частот путем модуляции.

Как подтональную телеграфную работу при помощи установок МТТ переносят в область тонального спектра частот, так и тональную часть спектра, занимаемую нормальным телефонным разговором, переносят при помощи установок высокочастотного телефонирования (ВЧТ) в надтональную часть спектра частот.

Так как затухание стальной или кабельной линии при увеличении частоты резко увеличивается, необходимо увеличивать исходящую мощность установки и чувствительность приемника ВЧТ.

Верхний предел уровня передачи ограничен возможностью перехода помех на соседние цепи; он должен быть не выше плюс 2 непер.

Чувствительность приемника ограничена наличием помех в самой линии. При усилении приемных токов одновременно будут усиливаться и помехи. Для удовлетворительного приема по нормам МКК рекомендуется иметь на входе приемника уровень на 1,0—1,5 непер выше уровня помех.

Так как на исправных линиях уровень помех должен быть не выше минус 5 непер, то чувствительность приемника должна быть не ниже минус 4 непер.

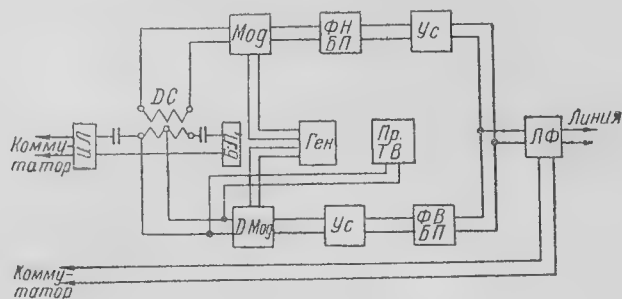
Таким образом, перекрываемое установкой ВЧТ затухание линии равно $+2 - (-4) = 6$ непер.

Это затухание нужно рассчитывать для наибольшей частоты передаваемого спектра. Расчеты показали, что для связи по стальным цепям ($\varnothing 3-4$ мм) на расстоянии не менее 100 км без усилительных промежуточных пунктов необходимо ограничиться спектром частот до 7500 герц. В этом спектре необходимо предусмотреть две полосы

частот для двух направлений передачи. Кроме того, необходимо предусмотреть некоторое расстояние по частоте между тональной и подтональной частями спектра.

Все эти условия заставили сузить ширину спектра телефонной передачи до полосы от 400 до 2000 герц; это не оказывает заметного влияния на качество служебной телефонной связи.

Установкой ВЧТ осуществляется телефонная двухсторонняя связь без несущей частоты, т. е. в моменты прекращения передачи высокочастотный ток на линии отсутствует.



Фиг. 3. Скелетная схема ВЧТ.

Для модуляции и демодуляции применяется ламповый генератор на частоту 5500 герц.

Принцип работы ВЧТ заключается в следующем (фиг. 3): телефонный ток тональной частоты через дифференциальную систему (ДС) подается на модулятор (Мод), где этим током модулируется частота, поступающая с генератора.

Выходящий из модулятора ток проходит через фильтр нижней боковой полосы (ФНБП), имеющий полосу пропускания 3500—5100 герц, усиливается усилителем (Ус) и поступает на линию через линейный фильтр (ЛФ).

Фильтры верхней и нижней боковых полос (ФНБП и ФВБП) могут быть взаимно переключены при помощи ключа, т. е. ФВБП может быть переброшен в канал передачи, а ФНБП—в канал приема.

Необходимо предварительно договориться с противоположной станцией, чтобы встречные передачи шли на разных частотах. Предположим, что фильтры НБП и ВБП включены так, как указано на фиг. 3. Тогда входящий ток высокой частоты, пройдя через линейный фильтр ВЧТ и через ФВБП, усилится в усилителе приема и поступит в демодулятор (ДМод). Демодулятор собран по такой же пушпульной схеме, как и модулятор; на выходе его получают нормальные телефонные токи тональной частоты. Эти токи подводятся к средней точке линейной обмотки дифференциального трансформатора, где они разветвляются на коммутатор и балансную линию.

Если входное сопротивление коммутатора равно сопротивлению балансной линии, то во вторичной обмотке дифференциального трансформатора, включенной на вход модулятора, напряжение будет равно нулю.

При расстройке дифференциальной системы, т. е. при неравенстве сопротивления балансной линии входному сопротивлению коммутатора, тональная частота попадет в модулятор и опять на линию, что вызовет эхо на противоположной станции.

При расстройке балансов обеих станций установки ВЧТ начнут зуммировать (свистеть). Для уменьшения возможности зуммирования коммутатор включен через искусственную линию (ИЛ), затухание которой равно 1,0 неперу ($Z = 600 \text{ ом}$).

Линейный фильтр (ЛФ) служит для разделения спектра частот, поступающего с линии, на две части. Частота выше 3000-герц попадает в ВЧТ, а ниже 3000 герц—непосредственно в коммутатор как нормальная телефонная передача.

Индукторный вызов, поступающий на стойку ВЧТ с коммутатора, заставит сработать купроксное реле (ЛР)¹, включенное параллельно дифференциальной системе и настроенное на частоту вызывного тока (15—50 герц).

От контактов ЛР работает реле генератора (РГ)¹, превращающее модулятор в усилитель и изменяющее частоту генератора с 5500 на 7500 или на 3500 герц (в зависимости от положения ФВБП и ФНБП). Частота 3500 (или 7500) герц пройдет по каналу передачи на линию, причем уровень ее будет превышать уровень телефонной передачи.

Входящий вызов 7500 (или 3500) герц пройдет через ЛФ, ФВБП, Ус и по выходе из ДМод будет иметь частоту, равную 2000 герц. На 2000 герц настроены резонансные контуры приемника тонального вызова (Пр.ТВ). В анодной цепи Пр.ТВ включено (через купроксы) реле приема вызова, включающее релейный токовращатель (15—20 герц) в цепь коммутатора.

Выбор частоты тонального вызова 2000 герц сделан из тех соображений, что эта частота в спектре телефонной передачи имеет наименьший уровень, что устраняет возможность срабатывания приемника вызова во время переговоров. Кроме того, реле приема вызова работает с замедлением, что также способствует устранению ложных вызовов.

ВЧТ выполнено в виде стойки ($1400 \times 600 \text{ мм}$); по габаритам почти вдвое меньшей стандартной стойки НКС ($2500 \times 600 \text{ мм}$). В ВЧТ применены экономичные бариевые лампы УБ-107/110/132. Питание анодных, сеточных и накальных цепей этих ламп производится от батарей 160, 12 и 6 в, причем батарея 12 в одновременно питает релейные цепи.

Аналогичная аппаратура ВЧТ для стальных цепей и стандартных напряжений, принятая в НКС, находится еще в стадии разработки.

Для увеличения дальности действия ВЧТ применяется телефонный высокочастотный промежуточный усилитель (ТВПУ), в котором для разделения передач противоположных направлений использованы не дифференциальные системы, а полосные фильтры ФНБП и ФВБП.

Применяя вышеупомянутую аппаратуру (ДС-38, МТТ-10 и ВЧТ)

¹ На фиг. 3 реле ЛР и РГ не указаны для упрощения скелетной схемы.

для уплотнения 3—4-мм стальных или 0,9—1,4-мм кабельных цепей, на одной двухпроводной линии можно получить следующие связи:

1 вариант:

- | | |
|---|---|
| а) подтональные телеграфные дуплексные связи | 2 |
| б) тональные " " " " | 5 |
| в) высокочастотная телефонная двухсторонняя связь | 1 |

2 вариант:

- | | |
|---|-------|
| а) подтональные телеграфные дуплексные связи | 2 |
| б) тональные " симплексные " | 5 + 5 |
| в) высокочастотная телефонная двухсторонняя связь | 1 |

3 вариант:

- | | |
|---|---|
| а) подтональные телеграфные дуплексные связи | 2 |
| б) нормальная телефонная тональная связь | 1 |
| в) высокочастотная телефонная двухсторонняя связь | 1 |

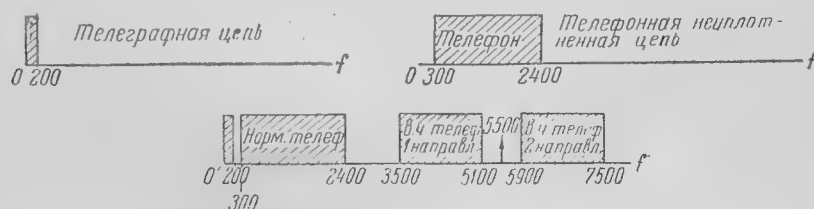
В зависимости от трафика и местных условий может быть использован любой вариант.

По первому варианту экономия проводов $9 - 2 = 7$

По второму " " " $14 - 2 = 12$

По третьему " " " $6 - 2 = 4$

Таким образом, при применении аппаратуры уплотнения стальных и кабельных цепей на трассах, имеющих перегрузку, может быть снята почти целая траверса.



Фиг. 4. Сравнительное использование неуплотненных и уплотненных стальных цепей.

Стоимость аппаратуры окупается уменьшением линейных повреждений, а следовательно, меньшим временем перерыва связи, меньшим количеством линейных работников и меньшей стоимостью подвески новых проводов.

На фиг. 4 дано сравнение частотных спектров для уплотненных и неуплотненных стальных цепей.

IV. Уплотнение цепей из цветного металла. Известно, что затухание в цепях из цветного металла по мере увеличения частоты растет не так быстро, как на стальных, поэтому для уплотнения по цепям из цветного металла можно занять и область более высоких частот. В СССР до 1938 г. уплотнение воздушных цепей из цветного металла высокочастотной телефонной передачей производилось в спектре частот от 10 000 до 40 000 герц. В настоящее время в связи с усовершенствованием оконечной аппаратуры линий спектр частот, занимаемый высокочастотным телефонированием, расширен от 10 до 150 килогерц. В полосе частот до 10 килогерц можно разместить по выбору комбинации из следующих каналов:

1. Нормальный телефон (300—3600 герц).
2. Широковещание (300—5000 герц).
3. Фототелеграф (3200—5200 герц).
4. Надтональный телеграф (6000—9000 герц).

Для уплотнения свыше 10 килогерц применяется аппаратура СМТ (система многократного телефонирования), ОСМТ (основная система многократного телефонирования) и ДСМТ (дополнительная система многократного телефонирования).

Аппаратура СМТ в отличие от ВЧТ работает с несущей частотой, которая используется для вызова путем прекращения подачи ее на линию. Уровень несущей частоты равен $+2,5$ непер, в то время как уровень боковых частот $+1$ неперу. Наличие большого уровня несущей частоты на линии создает ряд неудобств; это послужило причиной перехода на передачу только одной боковой полосой, без несущей. В полосе 10—40 килогерц размещено 3 канала двух направлений передачи.

Главнейшие недостатки СМТ следующие:

1. Для лучшего приема необходимо иметь уровень передачи, значительно превышающий уровень помех; повышение уровня на боковой полосе вызывает соответствующее повышение уровня несущей, что ведет к увеличению помех на соседние цепи.

2. Наличие большого уровня несущей частоты вызывает необходимость применения более мощных промежуточных усилителей, что делает невозможным использование общего усилителя на три канала одного направления. Наличие полосных фильтров в промежуточных усилителях уменьшает максимально допустимое число трансляций и, следовательно, снижает возможную дальность связи.

3. При передаче несущей частоты и боковой полосы увеличивается диапазон частот, занимаемый многократным телефонированием.

Основная система многократного телефонирования (ОСМТ) выпуска завода „Красная Заря“ является системой без несущей частоты, работающей на одной боковой полосе. Она позволяет получить на двухпроводной (или биметаллической) линии три добавочных разговора по высокой частоте. Эта система более устойчива в работе по сравнению с СМТ. Так как в демодуляторах напряжение тональной частоты на выходе пропорционально напряжению только боковой частоты, то всякое изменение затухания линии сказывается на величине тонального тока слабее, чем в системах с несущей частотой.

Для ОСМТ используется полоса частот от 6000 до 30000 герц, причем каналы одного направления передачи представляют одну группу, а каналы обратного направления передачи—другую группу.

Согласно решению МКК для передачи с севера на юг или с запада на восток используются боковые полосы каналов нижней группы, а для передачи с юга на север или с востока на запад—боковые полосы каналов верхней группы.

Конструктивно аппаратура ОСМТ оформлена в виде стандартных стоек (530×2500 мм), причем на оконечной станции располагается 8 стоек, а на промежуточной 6.

Оконечная станция

1. Автоматический регулятор уровня.
2. Общий усилитель и направляющие фильтры.
3. Аппаратура 1 разговора.
4. " 2 "
5. " 3 "
6. Стойка питания и контроля.
7. Стойка тонального вызова.
8. Стойка линейных фильтров.

Промежуточная станция

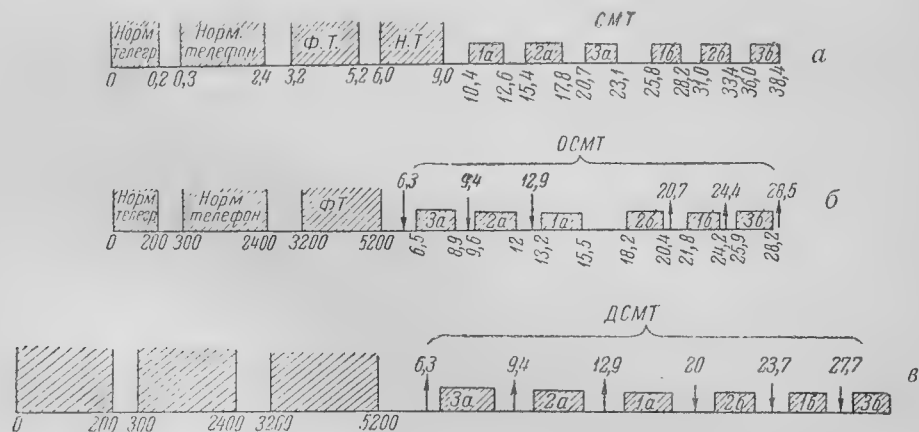
1. Автоматический регулятор уровня.
2. Стойка усилителя, 1 направление.
3. Стойка усилителя, 2 направление.
4. Стойка питания.
5. Стойка линейных фильтров.
6. Стойка линейных фильтров.

Аппаратура ОСМТ по своим электрическим данным значительно совершеннее аппаратуры СМТ. Она проще по схеме и надежнее в работе. Благодаря отсутствию несущей частоты достигнуто более удобное размещение частотных каналов в полосе, и в результате спектр частот, занимаемый тремя каналами, уменьшен на 10 килогерц. Дальность действия ОСМТ значительно повышена по сравнению с СМТ благодаря повышению уровня боковой полосы, что оказалось возможным при отсутствии несущей.

В случае необходимости уплотнения параллельной цепи такой же аппаратурой многократного телефонирования применяется несколько видоизмененный спектр. Это необходимо для уменьшения переходного разговора, так как с увеличением частоты уменьшается переходное затухание между параллельными цепями, а следовательно, увеличивается возможность взаимных помех в одноименных каналах.

В дополнительной системе многократного телефонирования (ДСМТ), служащей для уплотнения параллельных цепей, три верхних канала сдвинуты по отношению к каналам ОСМТ, так что взаимные помехи одноименных каналов уменьшаются.

На фиг. 5 представлено распределение каналов СМТ, ОСМТ и ДСМТ по спектру частот.



Фиг. 5. Распределение каналов СМТ, ОСМТ и ДСМТ по спектру частот.

Принципиальное отличие систем ОСМТ и ДСМТ от системы СМТ заключается в отсутствии несущей частоты.

В конструктивном отношении эти системы выполнены не на отдельные каналы, а как одно целое, на все три канала.

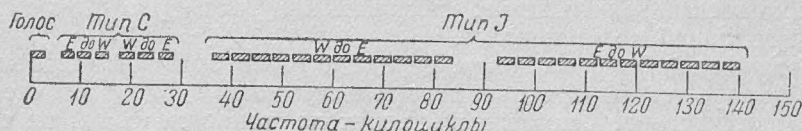
Фактически, промышленностью выпущена в данное время только система ОСМТ.

V. 12-канальная система ВЧ телефонирования по воздушным линиям. При проектировании системы ОСМТ был принят спектр частот американской системы типа С, впервые примененной в 1924 г. Дальнейшее уплотнение осуществляется 12-канальной системой типа J, описание которой имеется в январском номере журнала "The Bell System Technical Journal" за 1939 г. В этом же журнале приводится описание трехканальной системы типа С.

Аналогичная установка разрабатывается нашей промышленностью и должна быть выпущена в настоящем году.

Новая система типа J обычно добавляется к существующей связи по системе С. В результате на одной паре воздушных проводов получается 16 телефонных и 2 телеграфных канала.

На фиг. 6 представлено распределение каналов передачи по спектру частот, занимаемому 12-канальной системой типа J. Как видно, высшая частота, используемая в этой системе, приблизительно, равна 140 килогерцам.



Фиг. 6. Распределение по спектру частот передачи в 12-канальной системе.

В связи с увеличением диапазона передаваемых частот, линия для такого вида связи была реконструирована.

Для уменьшения переходного разговора на другие цепи изменена система скрещивания и распределения штырей на траверсах. Расстояние между проводами одной и той же пары необходимо было уменьшить до 15—20 см, а расстояние между разными парами увеличить до 40—60 см.

На линиях, имеющих кабельные вставки, потребовалось применение кабеля специальной конструкции для уменьшения отражения. Этот кабель сделан из спиральных четверок с жилами, изолированными дисками, причем каждая пара жил расположена по диагонали четырехугольника. Такая конструкция кабеля дает меньшую погонную емкость его (0,0155 микрофарады на 1 км) (фиг. 7).

При слабой пупинизации такой кабель по волновому сопротивлению аналогичен воздушной цепи и не требует сложных согласующих устройств.

Отрицательное действие отражения на высоких частотах настолько велико, что даже для коротких кабельных вводов (30—60 м) необходимо согласующее устройство.

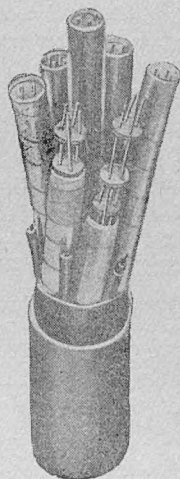
В связи с увеличением километического затухания линии на высоких частотах промежуточные усилители приходится ставить чаще, чем в системе С, примерно через каждые 120—160 км.

Изменение метеорологических условий сказывается в системе J сильнее, чем в системах, работающих на более низких частотах.

Особенностью 12-канальной системы является применение групповой модуляции, введенной с целью упрощения конструкции промежуточных фильтров, и общий генератор для всей системы.

VI. Уплотнение кабельных линий. Кабельные линии по сравнению с воздушными имеют следующие преимущества:

1. Устойчивость связи при изменении атмосферных условий.
2. Меньшая подверженность электрическим помехам.
3. Большая защита от механических повреждений.
4. Удобство маскировки узлов связи и трассы кабеля.



Фиг. 7. Конструкция кабеля для высоких частот.

Эти преимущества заставили обратить внимание на изыскание возможности уплотнения кабельных линий.

Применяющаяся система пупинизации для уменьшения прямого затухания на низких частотах не дает возможности использовать широкий спектр частот для уплотнения ввиду большой зависимости затухания на такой цепи от частоты тока передачи.

Новой эрой в развитии уплотнения кабелей явилось использование широкополосных коаксиальных кабелей и непупинизированных с уплотнением их цепей до 17 каналов.¹

По такому кабелю возможна передача токов большой частоты, так как затухание такой цепи незначительно, мало зависит от частоты, и почти отсутствует возможность перехода токов передачи на соседние цепи.

Так, например, в Германии уже в 1936 г. (Europäischen Fernsprechendienst, № 46, 1937 г.) был проложен кабель на полосу частот до 1000 килогерц для телефонных связей и от 1000 до 4000 килогерц для телевидения.

В литературе встречается указание на использование такого кабеля для 20 групп 12-канальной системы, что дает возможность получить $12 \times 20 = 240$ телефонных каналов.

В США² разработана для непупинизированного кабеля 12-канальная система типа К на частоту 12—60 килогерц, причем передача идет в одном направлении и по одной паре жил, а встречная передача идет по другой паре жил. Усилительные участки такой связи равны 25,6 км.

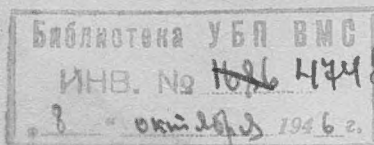
Имеется кабельная линия Детройт—Саут Бенд длиной 336 км, на которой установлена система, идентичная системе К. Между Лондоном и Бирмингемом проложен комбинированный кабель, имеющий 4 коаксиальных пары, 6 кордельных четверок и 4 экранированных кордельных пары³. Этот комбинированный кабель рассчитан на передачу по коаксиальным парам до 2100 килогерц, а по остальным жилам—до 30 и 60 килогерц. Такой комбинированный кабель удобен для организации прямой связи между конечными пунктами по коаксиальным парам, а для промежуточных—по четверкам и экранированным парам.

Связь по комбинированным кабелям имеет большое будущее, на что указывают размеры работ по переводу на кабель междугородних сетей в разных странах. Например, в США переведено на кабель 82% междугородних сетей, из них 53% подземных кабелей и 47% воздушных, а в Англии 90% междугородней сети оборудовано подземными кабелями. В СССР кабельная сеть еще мала, и поэтому вполне своевременно поставить вопрос об оборудовании сети комбинированными кабелями, уплотняя их наиболее рациональными системами, разработанными на основе опыта эксплуатации таких кабелей за границей.

¹ Решение МККФ по использованию кабельной сети.

² 20 лет ВЧ связи, „Bell Telephone Quarterly“, 1938 г., № 4.

³ „Новейшие пути развития междугородних связей в США“, „Electrician“, 3073, 1937, апрель 23.



СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>А. П. САХАРОВ.</i> Использование мощности генератора двойного тока в различных режимах его работы.	3
<i>Ф. Е. СЕМИКИН.</i> Переключение магистрали переменного тока с одного генератора на другой.	20
<i>И. Б. ЛЕВИТИН.</i> К вопросу о способе расчета корабельных осветительных установок	30
<i>КРУЦЕНКО.</i> Применение гальванопластики для ремонта коллекторов электрических машин.	40
<i>Д. Н. ШАПИРО.</i> Проектирование фильтров для подавления радиопомех от электромеханизмов	44
<i>Н. И. РЫБИНСКИЙ и И. Я. РОЗЕНБЛИТ.</i> Новые корабельные кабели слабого тока	67
<i>А. В. ЯКОВЛЕВ.</i> Аппаратура уплотнения морских береговых телефонно-телеграфных линий	77

29444 —

